



TITLE:

治水計画の中間目標と事業実施順位の最適化に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

岸田, 隆

CITATION:

岸田, 隆. 治水計画の中間目標と事業実施順位の最適化に関する研究. 京都大学, 1985, 工学博士

ISSUE DATE:

1985-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5667>

RIGHT:

治水計画の中間目標と事業実施順位
の最適化に関する研究

岸 田 隆

治水計画の中間目標と事業実施順位 の最適化に関する研究

岸 田 隆

序

人類は古来よりさまざまな形で河川とかかわって来た。河川のもたらす災害と戦いながら、河川の恩恵を如何に多く受けるかが、人類発展の歴史でもあった。我国においては、平地が狭小なため、堆積平野が、生活の場であり、社会経済活動の中心である。そのため、昔から治水事業が何にも増して重要視され、実施されて来た。

近年、産業・経済の発展、生活水準の向上により、国民の河川に対するニーズは多様化しているが、治水機能の増進が、その根幹にあることは、いささかも変わるものではない。

治水計画は、新河川法の制定により、工事实施基本計画として確立され、国力に応じた、バランスの取れた計画が治水の安全度向上を目標に策定されている。しかし、近年の経済・社会情勢は、工事实施基本計画の完成を益々長期化するところとなり、従って、この目標に向けての段階的な治水計画の策定が強く要請されるところとなった。

本論文は、達成に長期間を要する工事实施基本計画に対して、その中間目標の設定手法を提案すると共に、その目標を具現するための事業実施の順位付け、すなわち段階的施工計画の最適化について、被害の軽減とアンバランスの抑制を考慮した一つの方法論を提案しようと試みたものである。そして、さらに、段階的施工計画の最適化システムを現地河川に適用し、本論で開発したシステムモデルの持つ有効性についても検証しようとしたものである。

本論を草稿するにあたり、京都大学岩佐義朗教授、同井上和也助教授の御懇篤な御指導を得た。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

また、治水計画に関するアンケート調査に御協力をいただいた建設省の各工事事務所長に感謝申し上げるとともに、資料の収集整理、諸計算、図表作成等について御協力を賜った近畿地方建設局河川部、福知山工事事務所の諸氏にも深く感謝の意を表する次第である。

昭和60年1月

岸 田 隆

目 次

緒 論	1
第 1 章 治水事業の変遷と段階的治水計画	
第 1 節 概説	5
第 2 節 新河川法制定以前の治水事業	5
2-1 明治以前の治水事業	5
2-2 明治初期の治水事業	7
2-3 明治後期～大正時代の治水事業	9
2-4 昭和初期の治水事業	11
2-5 戦後の治水事業	13
第 3 節 新河川法制定後の治水事業	16
3-1 治水計画への確率的概念の導入と工事実施基本計画	16
3-2 総合的な治水対策	22
3-3 河川激甚災害対策特別緊急事業	27
第 4 節 治水計画における今日的課題と本研究の意義	28
4-1 治水計画における今日的課題	29
4-2 本研究の意義	30
第 2 章 治水計画から見た河川流域の特性に関する考察	
第 1 節 概説	33
第 2 節 河川流域の類型化	34
2-1 治水ポテンシャル	35
2-2 社会ポテンシャル	37
第 3 節 河川管理者からみた治水計画上の問題点と課題	42
3-1 治水計画上の問題点	42
3-2 治水計画の課題	44
第 4 節 河川流域の類型と治水特性	44
4-1 治水ポテンシャルによる河川流域の類型と治水特性	44

4-2	社会ポテンシャルによる河川流域の類型と治水特性	48
4-3	アンケートに基づく河川流域の類型化	50
第5節	結言	54

第3章 治水計画の中間目標の設定に関する研究

第1節	概説	59
第2節	工事実施基本計画とその中間目標	61
2-1	工事実施基本計画の目標とその段階的向上	61
2-2	中間目標の意義	66
第3節	中間目標の評価	67
3-1	治水計画規模の評価指標	68
3-2	中間目標の評価とその定式化	69
第4節	中間目標の最適化システムの構成	77
4-1	最適化システムの制御変数	77
4-2	最適化システムの状態変数	78
4-3	最適化システムの評価変数	79
4-4	最適化システムの構成	80
第5節	結言	82

第4章 段階的施工計画の最適化に関する研究

第1節	概説	84
第2節	段階的施工計画の目的と制約	85
2-1	段階的施工計画の意義	85
2-2	段階的施工計画の目的	88
2-3	段階的施工計画に係わる制約	89
第3節	段階的施工計画の最適化システムの設計	90
3-1	制御問題として捉えた段階的施工計画	91
3-2	段階的施工計画へのDP理論の適用	93

第4節 段階的施工計画の目的と評価関数	98
4-1 効率の最大化と評価関数	98
4-2 公平化と評価関数	100
4-3 多目的評価と評価関数	102
第5節 最適化システムに適用する洪水氾濫モデルの開発	103
5-1 最適化システムにおける洪水氾濫モデル	103
5-2 貯留関数法をベースとした簡便法	106
5-3 実験計画法を適用した湛水量予測モデル	107
第6節 結言	116

第5章 段階的施工計画最適化システムの現地河川への適用

第1節 概説	120
第2節 由良川流域の概要	121
2-1 流域の水利水文特性	121
2-2 流域の社会経済的特性	122
2-3 由良川治水の歴史的変遷	124
2-4 由良川の治水現況	125
第3節 由良川中流部における段階的施工計画の最適化システムの設計	127
3-1 改修区間の分割と氾濫ブロックの設定	128
3-2 洪水氾濫モデル	133
3-3 被害額算定モデル	161
第4節 最適化計算における前提条件と解析ケース	167
4-1 前提条件の整理	167
4-2 解析のケース	168
第5節 解析結果	169
5-1 総被害額の最小化を目的とした最適化計算の結果	169
5-2 住民被害のアンバランスの是正を目的とした最適化計算の結果	174

5－3	段階的施工計画の多目的評価	178
5－4	段階的施工計画における技術的制約	183
5－5	段階的施工計画における評価時期の問題	188
第6節	結言	192
結 論	195

緒 論

河川の持つ機能、あるいは持つべき機能は多種多様である。ある時代には、その時代の社会状況に応じて、ある特定の機能が重視され、次の時代には別の機能が重要になったり、あるいはあまり重要でなかった機能が時代の変化とともに重要になってきたりする。また河川はそれぞれの特徴をもっており、河川ごとに具備すべき機能も異なるであろうし、また具備すべき機能の中で重要度の順位も河川によって異なるであろう。

河川の機能を総括的に表現することは困難であるが、一般に、以下の3つが柱であるといわれている。

○治水

○利水

○河川環境

近代国家成立以降のわが国の河川計画は、先ず、治水に重点が置かれ、次いで産業・経済の発展とともに、利水面も大きな柱として進められて来たが、近年、都市化等河川流域の変貌により、河川環境の問題が特に重視されるようになった。従って、河川計画とは、

○災害のない国土

○水資源の豊かな国土

○住み良い美しい国土

の実現をめざして、治水・利水・河川環境という3つの機能を、整合を取りながら維持増進させていくことと言える。

さて、わが国は地形・気象等の自然条件から災害を受けやすい基盤にあるうえ、河川の氾濫によって形成された堆積平野が古来から経済・社会活動の枢要な部分を占めているという社会的条件が加わっているため、水害による被害は常に甚大であり古くから治水事業の重要性が認識され実施されてきた。

洪水氾濫防禦対象区域である河川氾濫区域は、全国で38,000km²に及び、国土のおよそ1割、平地の約1/3を占め、現在ここに全人口の1/2に当たる約6,000

万人が居住するとともに国の中枢管理機能を含め、全国の70% にあたる約430兆円の資産と公共施設を抱えている状況にあり、今後なお集中する傾向にある。したがって、このように、狭小な国土に超過密社会を形成しているわが国においては、この氾濫区域から逃避して国の存立はあり得ない。

このように考えると、河川計画は治水・利水・河川環境の機能を総合的に構成していく必要があるが、人の生命に直接的に危害を加える洪水災害を防止・軽減する治水機能を維持増進することは時代の流れ、地域性を越えて河川計画の基本となることは言うに及ばない。

昭和35年に治山・治水緊急措置法が制定されて以来、治水事業五箇年計画に基づいて昭和58年度末までの24年間に治水事業として約13兆円(名目額)の予算が投入されてきた。その結果、浸水面積は減少の傾向を呈しているが、上述したような背景のもとで一旦、氾濫したときの水害被害は増加の傾向にある。

21世紀の社会に向けて、都市化は全国的な規模で益々進展していくことが予想され、治水安全度の確保は国民の総意を充分に得る緊急課題であると言える。

治水事業はその歴史が物語るように、非常に長年月を必要とし元来、段階的に推進される性格のものである。

新河川法に基づいて、全国の主要河川流域において、工事实施基本計画が策定され、その目標に向かって鋭意努力がなされているが、この工事实施基本計画も完全治水に向けての段階的な目標であることは言うに及ばない。

しかしながら、高度成長から安定成長へと移行するわが国の経済社会の中にあつて、工事实施基本計画の目標を達成するのに、今後極めて長期間を要する河川流域が多い。このような状況のもとで、

- ① 氾濫区域の都市化、水害訴訟の多発、あるいは厳しい財政制約のなかで、工事实施基本計画の超長期的な目標のみでは改修の方向を見定めにくい。
- ② 工事实施基本計画は元々目標を計画したものであり、目標達成に至る具体的なプロセスが明示されていない。
- ③ 他の社会的事業計画(例えば、道路計画、土地改良計画等)との協議には「いつ」「どこに」、「どの程度」の治水施設を整備するといった具体的な計

画内容の提示が必要となる。

など、河川行政担当者として治水整備の方向を見定めるとともに流域住民や関係各機関に対応するためにも工事实施基本計画の目標に向けての中間的な治水計画を策定する必要に迫られている。

段階的治水計画は、一般的に工事实施基本計画で定められた治水安全度の整備目標（計画規模）をどのように段階的に向上させていくか、すなわち治水安全度の中間目標の設定と、設定された中間目標を時間的・空間的にどのような手順で事業を実施していくか、すなわち段階的施工計画という2つの計画レベルに分けてみることができる。

上述したような観点から、著者は工事实施基本計画の完成に向けて、中間目標の計画と、段階的施工計画に関する研究を進めてきた。本論は、それらのとりまとめをなすものであって、構成は以下のとおりである。

第1章：河川と人間をめぐる相互の関係は時間的経過を経て現れる。いわば歴史的関係と言える。すなわち、時代の流れとともに、流域の社会的、経済的条件はもとより物理的条件も変わり河相も変化する。したがって、河川と人間をめぐる相互の関係も単純ではなく時間要素を含むダイナミックな関係として捉える必要がある。そこで本章では、わが国の治水事業の歴史的変遷の中に、治水事業がどのように段階的に進められてきたかを概観する。

第2章：河川にはそれぞれの特性がある。自然的な特性により、洪水流出、氾濫形態にも自ずと差異があり、また社会的な特性により、洪水が氾濫した場合の被害の様相も変化する。治水事業はこのように河川流域の特性に応じて、それぞれの河川に相応しい形で進められる必要があり、また進められてきたと言えよう。そこで本章では、わが国の主要水系を対象とし、河川流域を自然的・社会的条件等から類型化し、各類型における治水上の問題点等について分析する。

第3章：工事实施基本計画の目標に向けて治水事業が展開されているが、前述したようにその完成には非常に長期間を必要とし、段階的に事業を

施行していくことになるが、今日のところ、その方法論についてはあまり厳密に調査研究がなされていないと言えよう。そこで本章では、事業の経済的効率および災害により住民の受ける心理的被害を考慮した工事実施基本計画の中間目標の計画手法を提案する。

第4章：治水事業を実施していく場合、事業の実施順位は地域の被害額およびその地域分布に大きな影響力を持つ。そのため、前章で設定される工事実施基本計画の中間目標を具現する間において、地域の受けるであろう被害を可能な限り軽減するとともに、その地域的なアンバランスを可能な限り抑制していくことが大きな課題となるが、現在のところその方法論において確たるものがない。そこで本章は、治水事業の実施順位づけを治水事業の段階的施工計画と呼び、その方法論を提案する。

第5章：4章で開発した段階的施工計画の策定手法を現地河川に適用することにより、方法論の有用性を検証する。

最後に、それまで得られた結果をまとめて結論とする。

第1章 治水事業の変遷と段階的治水計画

第1節 概説

治水事業は民生安定のための国家的事業であり、そのため、治水事業は時の社会経済情勢に見合った考え方および方法のもとで実施されてきたと言えよう。本章では、これまでに至る治水事業の歴史を大きく5つの時代に区分し、それぞれの時代における社会経済情勢と治水事業の在り方がどのように対応していたかを概観することとした。また、現在の河川事業の進め方の基本となる工事实施基本計画の理念や近年の都市化流域における総合的な治水対策および激甚な災害を受けた河川流域における河川激甚災害対策特別緊急事業の考え方などを踏まえて、本論の主題である段階的治水計画の持つ社会的・経済的意義を明らかにする。

第2節 新河川法制定以前の治水事業¹⁾²⁾³⁾

2-1. 明治以前の治水事業

(1) 江戸時代以前

現在、記録に残されている治水事業の最も古いものは、仁徳天皇が難波に遷都し、淀川下流において難波の堀江を開削するとともに、枚方付近に茨田堤を修築し、淀川左岸一帯の平野の氾濫を防止したことである。

奈良時代になると僧行基の奨励により各地で灌漑、干拓等の事業が行われたが、河川工事としては淀川の水流を神崎川に分流させる開削工事、鬼怒川筋川西村付近の流路付替え等が有名である。

平安時代においては、京都市内を貫流する賀茂川およびこれに近い葛野川についてそれぞれ、防鴨河使および防葛野河使が任命され、京都の治水に意が注がれた。

16世紀の戦乱の時代においては、領土の観念が濃厚となり、富と武力を蓄えるため、諸侯は洪水に対処する治水事業を積極的に行った。例えば、武田信

玄は釜無川にはじめて霞堤を築造するとともに聖牛、棚牛、尺木垣などの各種の水制工法を創設さらには尚林制によって水源の涵養を図った。また、豊臣秀吉は木曾川筋において犬山以下の幹川であった境川の流路を付替え、淀川水系の

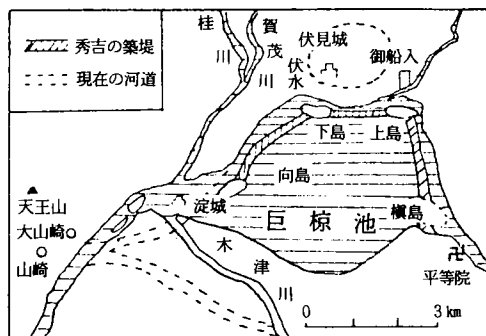


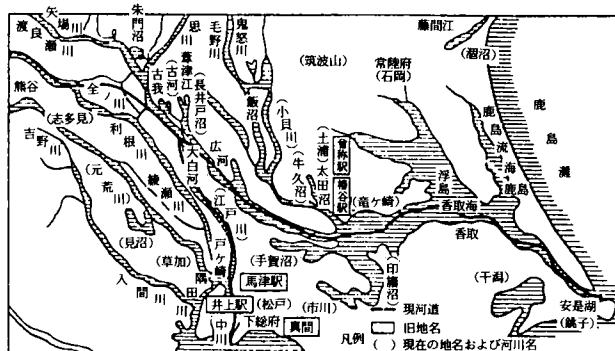
図1.2.1 巨椋池（伏見・淀付近）

宇治川においては図1.2.1⁴⁾に示すように、流路を北方に移して巨椋池との分離を図る工事を行っている。また、加藤清正も白川と坪井川との分離等多くの改修工事を施行して広大な農地を開拓している。

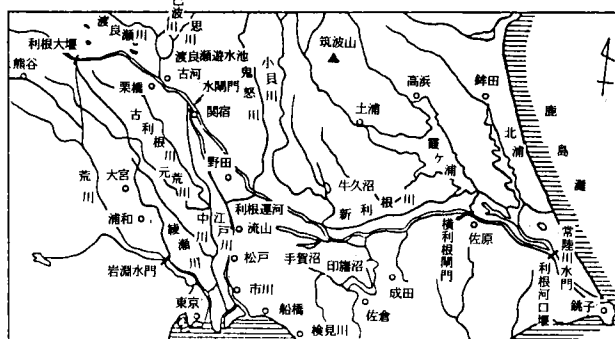
(2) 江戸時代

戦乱が止み、大平の世を迎えたため、人口が増加し、土地の開発が盛んに行われた。そのため、河川工事も隆盛となり淀川、利根川、木曾川をはじめ各地の河川で洪水防禦工事が行われた他、最上川、阿武隈川、北上川、大井川、富士川、天竜川、球磨川等では舟運のための工事が行われて、長距離の航路が開発された。

また、1593年から図1.2.2に示すように、東京湾に流入していた利根川を直接鹿島灘に流入させるという大規模な



(a) 千年前の利根川



(b) 現在の利根川

図1.2.2 利根川の河道の変遷

付替え工事が60年の歳月をかけて徳川幕府により行われた。⁵⁾

その後、1704年には当時、淀川に合流していた大和川を図1.2.3に示すように、直接大阪湾に流入させると云う大規模な付替え工事をわずか8ヶ月というスピードで完成させた。⁶⁾

これらの工事は、その後の東京を中心とする関東平野、また河内平野の発展の基礎をなしたものと考えられる。

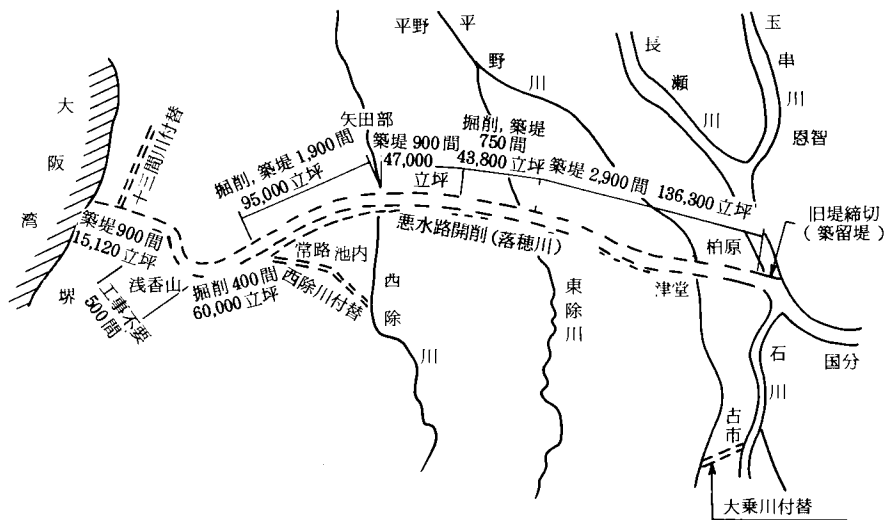


図1.2.3 大和川の付替え工事の概要

2-2. 明治初期の治水事業

封建制度を打破し、わが国の近代経済発展の基礎を築いた明治初年～明治18年にかけて、わが国のインフラストラクチャーの整備は図1.2.4に示すように近年に比べて、河川事業に多くの投資がなされるという形で展開された。⁷⁾

すなわち、全国幹線鉄道網が完成する以前、とくに明治初期においては、舟運が最も強力かつ低廉な長距離・大量輸送手段であったこと、また、河川事業の果たす農業生産上の効果が極めて大きかったことから河川事業が当時の最も重要な公共事業として取り扱われてきた。

この時期にあって、河川事業は修築工事と呼ばれ、図1.2.5に示すように、明治7年から淀川、利根川、信濃川、木曽川、北上川、阿賀野川をはじめ14河

川に国直轄事業として河川工事が開始された。その内容は舟運の便を図る低水工事および砂防工事が中心であり、それも、乱流の甚だしい箇所には水制工、護岸工等を行う程度であり、高水工事については府県に委ねられていた。どちらかと言えば、低水工事よりも巨額の事業費のかかる高水工事が財政能力の乏しい府県に委ねられたため、高水工事は遅々として進まなかった。

そのような状況にあって、明治18年から25年頃にかけて、全国的に既往最大と目される大洪水が発生したこともあって、明治20年に、舟運のための河心を矯正し航路を一定にする低水工事は国の事業、高水工事は府県の事業として国庫から補助するという方針が決定され、明治28年までつづいた。

明治20年代になると、急速な経済の発展により、河川氾濫区域の土地の利用度が高められ、被災対象物が著しく増大した。

一方、国庫補助も制度的な面で種々の問題を抱え、府県に委ねられていた高水工事は思うに進捗せず、そのため、豪雨が頻発すると重要河川で次々と激しい水害が連発し、全国各地で国直轄事業としての洪水防禦を求める声が高まった。また、一方では農業生産が国民総生産の過半を占めていた時代であり、水害による農地の流失、農作物被害が社

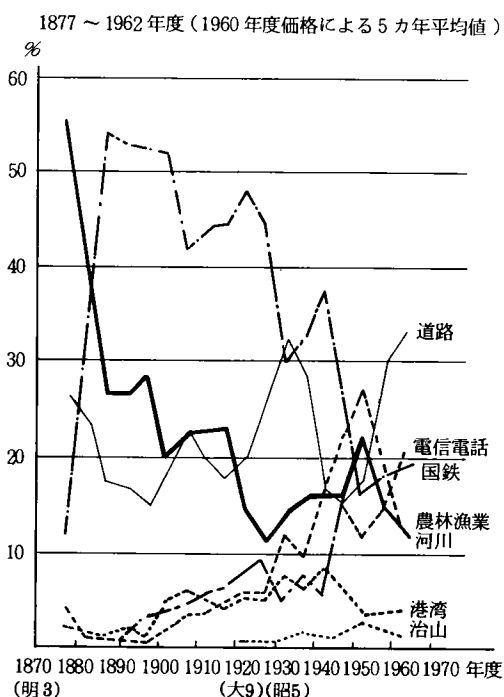


図1.2.4 施設別事業投資の構成比

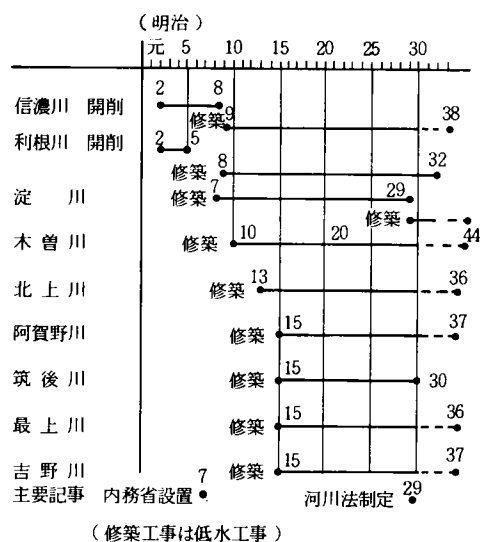


図1.2.5 明治前期低水工事实施状況

会経済的に大きな関心事であった。このような背景と日清戦争が終結したことにより、高水工事も国直轄事業とする河川法（以下「旧河川法」と呼ぶ）が明治29年に制定され、ただちに淀川、筑後川で改修事業が開始され、順次、他の河川へと及んでいった。旧河川法の特色としては、

- ① 河川を国の営造物として位置づけ、都道府県は国の機関としてこれを管理することとしたこと。
- ② この法が適用される河川は主務大臣が公共の利害に重要な関係があると認定したものに限るとしたこと。
- ③ 河川、河川の敷地および流水については私権を排除したこと。
- ④ 主務大臣の強大な監督権限を定めたこと。

などを指摘できる。また、当時は利水がそれ程重要な課題とならなかったことから、利水については十分な考慮がなされていなかった。

旧河川法における治水の理念は、当面の目標として、その河川が受けた既往最大の洪水による災害の再来を完全に防ぐとしたものであった。また、治水の方式としては、築堤や河床掘削がその中心であった。

2－3．明治後期～大正時代の治水事業

旧河川法の制定はみたものの、財政的には治水事業の急激な拡大は望めず、明治43年までに国の直轄事業として着工されたのは図1.2.6に示すように淀川、木曽川、筑後川、利根川、九頭竜川などの10数河川であった。

明治43年8月の台風により関東地方をはじめ東北・中部地方を中心として甚大な被害が発生したのを契機として政府は臨時治水調査会を設立し、翌44年同調査会は、国が直轄事業として改修すべき河川を表1.2.1に示すように65河川とした。

また、当時の財政力を勘案して第一期事業として五箇年間に20河川を、残り45河川を第二期として第一期河川の竣工後、逐次着工するという段階的な計画として第一次治水計画を策定した。

この結果、明治44年は治水事業費も前年度の約3倍に増額投資され、治水事

業が数多く着工されることとなった。しかしながら、大正 2 年以降は財政難であったこと、さらには鉄道網、道路網の整備の進捗に伴う舟運の衰退という背景のもとで、治水事業費は漸減の傾向をたどった。

因に、淀川の舟運についてみると、明治40年に京都の伏見を中心に発着するものが年間約 11,000 隻であったものが、明治43年に沿岸の京都～大阪間に現在の京阪電車が開通したことにより、大正 3 年には伏見に出入りする船は年間約 1,500 隻と著しく減退している⁸⁾。

大正 7 年～9 年にかけて、第一次世界大戦による経済の好況が支えとなり、治水事業費もかなり増額され、前述した第一次治水計画の第一期の河川の改修が起工され、未着工は斐伊川、緑川の 2 河川のみとなった。このように、第一期河川の改修は一応順調に進展してきたが、大正 6、7 年および10年には大規模な洪水が全国各地を襲い激甚な被害をみることになった。そのため、政府は臨時治水調査会を設置し、第一次治水計画の第二期改修河川に12河川を追加し 57河川とし、これら河川を大正11年以降20 箇年以内に改修するとした第二次治水計画を策定し実施に移されたが、折しも世界大恐慌期を迎えたことと、国内では関東大震災が発生するなどの背景のもとで完全な実施は不可能となった。

2－4．昭和初期の治水事業

昭和初期の経済恐慌は次第に深刻化し、特に昭和 6～7 年にかけての満洲事変の発生、イギリスの金本位停止とわが国の金輸出再禁止などによる金融界の異常な動揺のなかで、失業救済と農村政策が国の重要な政策課題となってきた。このような背景の下で、国会では農業救済決議が行われ、産業振興土木事業に関する予算の成立を見るに至った。治水関係事業についてみると、直轄改修の新規改修及び既定工事費の繰り上げ追加の他、昭和 5 年までは国庫補助の対象でなかった府県施行砂防工事や中小河川改修の国庫補助が含まれることとなり、39河川に対しての補助が行われた。また、この補助制度の特色として云えることは、事業の性格からして、多額の用地費を必要とせず労力費の占める割合が大きい事業、すなわち、雇用能力の大きさも事業採択の 1 つの評価要素となっ

ていた。

一方、直轄改修についてみると第二次治水計画の進捗が捗々しくなく、計画の見直しが行われ、第三次治水計画が昭和8年に策定された。その内容は、第二次治水計画で取り上げられた直轄57河川のうち40河川については第二次計画期間中に着手することが困難であると判断され、そのうち特に緊急を要する24河川についてのみ今後10年以内に着工し15年以内に改修するとしたものであった。

この間、第一次世界大戦を経て、わが国が軽工業中心ではあるが、世界の主要産業国として躍進してくると、その動力としての電力需要の増大するなかで発電水利と農業水利等、利水者間の調整問題が大きく指摘されるようになってきた。さらには、アメリカにおいてニューディール政策の一貫としてTVA事業が大きな成果を納めていたことなど、内外情勢の変化するなかで、河川法制定以来、治水事業中心に進められてきた河川事業に対して、「河川の上流に洪水を貯留し、水害を軽減するとともに、各種の河川水利を増進し……」とした「河水統制の調査並びに施行」が昭和10年に内閣において決議された。

淀川においては、昭和17年に淀川河水統制計画が策定され、琵琶湖の洪水期の水位を鳥居川量水標±0mに保ち、+80cmまでを洪水調節に利用し、利水については-180cmまでとし常時利用水量を140m³/secに増加し、平均160m³/secの湖流入水量の90%の利用を図り、発電と下流の水需要に対応することとした。そのための主な工事として南郷洗堰の改造、瀬田川の掘削、大戸川の付替え、琵琶湖疏水補給水路の開削等があり、一方では、湖周辺内湖の干拓、同地区の排水好転による二毛作の増進など地域開発等も含めた総合開発計画が策定された。しかしながら、第二次世界大戦の激化により電力の増強、食料増産、各種用水の確保に急速に効果の挙げうる程度を第1期事業として、昭和18年から実施されることになった⁹⁾。

淀川に見られたように、河水統制事業は戦争の激化により、大きな進展を見ることは出来なかったが、その理念の本格的な河川計画への適用はむしろ第二次大戦後の多目的ダムの建設として生きていると言える。

2-5. 戦後の治水事業

第二次世界大戦後の国土は、戦時中における河川事業の停滞、乱伐による森林機能の低下等により、極度に荒廃した状態にあった。このような状況のもとで、昭和20年の枕崎台風(死者・行方不明3,128人)、21年の南海地震(同1,362人)、22年のカスリン台風(同1,624人)、23年の福井地震(同3,769人)等の大災害が相次いで発生し、敗戦による国の疲弊にさらに拍車をかけることとなった。

戦後のこのような連続的に発生した大災害により抜本的な治水事業拡大の必要性が高まり、昭和22年に治水調査会が設置されて、全国主要河川の改修計画の再検討が開始された。

翌23年には治水五箇年計画が策定されたが、この計画は治水計画における経済効果に関する具体的な検討を行った最初のものと言える。その内容は治水事業による浸水面積の減少がもたらす年平均の米穀類減産防止額と治水事業費とを比較検討するものであり、治水事業の国家的投資の有利性を主張したもので、当時としては画期的なものであった。

昭和30年代にはいり、日本経済は新たな発展期を迎え、長期的展望に立った経済計画が策定されるようになり、これに呼応して、治水行政においても長期計画策定に努力が向けられるようになってきた。そうしたなかで昭和34年、内閣において、治山・治水対策閣僚懇談会が設置され、翌35年に治水長期計画の法律的根拠となる「治山・治水緊急措置法」およびその財源的裏付けとなる「治水特別会計法」が制定され、治水事業を計画的に実施する制度が確立されるに至った。これに基づき同年12月に表1.2.2に示すような「治水事業十箇年計画」が池田内閣による国民所得倍增計画と同時に閣議決定された。

この治水事業十箇年計画においては、その緊急性に鑑み、特に重要な直轄河川100河川について昭和35年以降おおむね十五箇年で完成することが目標として掲げられた。ところで、前期五箇年計画、すなわち、第一次治水事業五箇年計画はその実施過程において、昭和36年の梅雨前線豪雨、第二室戸台風等による大災害の発生、一方では急速な都市化による三大都市圏を中心とする河川流域の顕著な変貌とこれに伴う水需要の急増等が重なり、治水事業の重要性、

表1.2.2 治水事業十箇年計画の概要

区 分	前 期 五箇年 計 画	後 期 五箇年 計 画	十箇年 計 画	35年度 事業費	前期五 箇年計 画平均 伸び率	後期五 箇年計 画平均 伸び率	構 成 比		
							前 期 五箇年 計 画	後 期 五箇年 計 画	十箇年 計 画
治 水 事 業	億円	億円	億円	億円	%	%	%	%	%
河 川	3,650	4,850	8,500	580.2	11.6	2.6	100.0	100.0	100.0
ダ ム	2,040	2,760	4,800	325.4	11.3	3.3	55.9	56.9	56.5
砂 防	810	960	1,770	134.1	9.4	0.0	22.2	19.8	20.8
機 械	730	1,040	1,770	109.5	14.4	3.5	20.0	21.4	20.8
	70	90	160	11.2	11.2	1.7	1.9	1.9	1.9
災害関連・地 方単独事業	350	350	700	—	—	—	—	—	—
治 水 投 資	4,000	5,200	9,200	—	—	—	—	—	—

(注) 前期5箇年の平均伸び率は、昭和35年度事業費から平均に事業費を伸ばした場合のもので、これによる昭和39年度の事業費から後期5箇年計画の平均伸び率を計算した。

表1.2.3 第一次治水事業五箇年計画の進捗状況

緊急性は一段と強まった。そのため、後期五箇年計画を繰り上げて施行し、表1.2.3に示すように五箇年で118%の達成率となり、十箇年計画は根本的に改定せざるを得ない状態となった。かくし

区 分	計画額	年度別実施額 (億円)					
		3 5	3 6	3 7	3 8	3 9	計
河 川	2,040	330	415	502	600	714	2,561 (126)
ダ ム	810	135	136	149	206	241	867 (107)
砂 防	730	111	145	160	189	223	828 (114)
機 械	70	11	13	14	6	5	49 (70)
合 計	3,650	587	709	825	1,001	1,183	4,305 (118)

(注) 1. 各年度事業費は最終予算額である。
2. () 内数値は達成率 (%) である。

て、昭和40年より第二次治水事業五箇年計画へと計画的な事業の実施が進め

られて行った。

さて、明治29年に制定された旧河川法は、制定当時の社会経済情勢を反映して、治水に重点が置かれ、利水についての十分な制度が用意されていなかったため、発電を中心とした利水事業が進展するなかで法改正の必要性が指摘されるようになり、また、法改正のための数多くの試みがなされた。とくに、戦後においては、

- ① 現行憲法の制定に伴い、国の行政制度に大幅な変革が行われ、従来の行政区間を単位とした都道府県による河川の分断管理について再考を要したこと
- ② 憲法で保障する国民の権利義務を具現するために適正な管理方式を確立する必要が生じたこと
- ③ 社会経済の進展に伴う沿岸流域の開発状況や各種用水需要増大に対応するため、従来の地先主義の河川管理体系を改め、水系を一貫した管理体制とする必要性が高まったこと
- ④ 利水行政の進展に伴い、新たな水利使用と既存の水利使用の調整など利水関係規定の整備を行う必要性の高まったこと
- ⑤ 施工技術の進歩等により、大規模なダムが数多く建設されることにより、ダムの設置または操作に伴う災害の発生を防止するための規定を整備する必要が生じたこと

等により、旧河川法の抜本的改正の必要性は格段と強いものとなってきた。

建設省では旧河川法の改正の作業を進め、主として以下のような改正内容をもった新河川法が昭和39年の第46回通常国会において成立し、昭和40年4月に施行された。

- ① 従来の適用河川、準用河川の制度を廃止し、河川を水系別に区分し、一級河川は国土の保全上または国民経済上特に重要な水系に係わる河川を、二級河川はそれ以外の水系に係わる河川で公共の利害に重要な関係があるものを、それぞれ指定するものとする。
- ② 河川区域については、河川の現状に即して、一定の用に該当する区域は法律上当然に河川区域とし、その他の区域は河川管理者の指定によって定ま

るものとするとともに河川区域内の土地も私権の対象となりうるものとする。

- ③ 河川の管理は、一級河川については建設大臣が、二級河川については都道府県知事が行うものとする。ただし、一級河川の管理については、建設大臣は一定の区間を定め、都道府県知事にその管理の一部を行わせることができるとし、また、水系に係わる管理の総合的な管理を確保するため、水系毎に工事実施基本計画を策定することにする。
- ④ 水利使用を許可する際の水利調整の規定を整備する。
- ⑤ 一定規模以上のダムについて、防災上の見地から、その設置および操作についての規定を整備する。
- ⑥ 一級水系または二級水系以外の水系に属する河川で市町村長が指定したものについて準用河川の制度を設ける。

新河川法は、その目的の条項で「この法律は、河川について洪水・高潮等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、および流水の正常な機能が維持されるように、これを総合的に管理することにより国土の保全と開発に寄与し、もって公共の安全を保持し、かつ公共の福祉を増進することを目的とする。」と記されている。

新河川法は治水と利水機能の向上に加えて、河川の第三の機能としての河川環境機能の向上を基本的理念の一つとし、それら3つの機能を総合的に管理することの必要性を提唱している。

第3節 新河川法制定後の治水事業

3-1. 治水計画への確率的概念の導入と工事実施基本計画

(1) 治水計画への確率的概念の導入

広く水文諸量の数学的处理に統計的手法が適用され始めたのは1880年ないし1890年代のHershel, Freemanの流況曲線への図式解法と言われているが、本格的には1914年のFullerの治水施設への設計基準を求める研究¹⁰⁾がその発端といえる。その後、1930年代より研究は活発になり、Foster,¹¹⁾ Hazen¹²⁾など幾多の

研究者によって基礎理論の確立および実際問題への適用に対する努力が重ねられてきた。

当時、わが国の改修計画の基準は、大洪水が発生したきっかけで改修工事が始められる場合がその殆どであったから、実際に発生した洪水の推定流量を重視して決められることが多かった。いわゆる既往最大主義であった。しかしながら、この既往最大主義は、

- ① さらに大きな洪水が発生すると直ぐに計画を改定しなければならないこと
 - ② 河川毎の重要度についての十分な配慮がなされているとは言えないこと
- 等の問題点が指摘され始めていた。

このような背景と、一方では明治以来蓄積されてきた水文量の観測技術の向上、資料の整備・拡充ということがあいまって、1930年代に欧米諸国での統計的理念やその解析手法が石原・岩井によりわが国に紹介された¹³⁾。ここに、わが国の治水計画において近代的な数理統計学の進展を背景とした、客観的な基準策定が可能となった。

さて、わが国の水文統計学の実際問題への適用は河道計画における施設規模の決定に端を発したといえる。即ち、河道の懸案地点における疎通能力の設計値を洪水流量の生起頻度を考慮して決定しようとするものである。具体的には計画基準を直観的に理解し易い形で表現するために、確率年(return period)を導入した確率洪水年や確率降雨年の表現が採用された。

この確率的概念の実際の河川計画への適用は1950年に中安による千代川¹⁴⁾、また、1952年に石原・上山による北海道忠別川¹⁵⁾の治水計画における経済的評価にみられるが、その後、米田による「淀川計画高水論」¹⁶⁾となって、具体的に開花することとなった。

米田は確率評価の基準には豪雨時の一連降雨量を採用し、この総雨量を、当該流域に最も危険な出水を惹起する雨量時間分布型に即して配分し、計画降雨を定め、これにユニットグラフ法を用いた流出解析によって流量に変換し、洪水追跡・合成等の手法によって淀川本川の計画流量を算出した。

なお、この成果をもとに米田は淀川本川の計画高水流量を80年確率洪水を採

表1.3.1 淀川水系改修基本計画の内容

河川名	基準点	計画高水流量	確率年	在来計画高水流量
木津川	加茂	5,900 m ³ /s	80年	4,650 m ³ /s
桂川	羽束師	2,850 m ³ /s	80年	2,780 m ³ /s
宇治川	宇治	1,230 m ³ /s	80年	835 m ³ /s
淀川	枚方	8,650 m ³ /s	100年	6,950 m ³ /s

用し、枚方地点で7,300 m³/secにすべきとした意見書を上申した。しかし、当時としてはこのような理論的推論だけで既往の計画高水を飛躍的に増加するには経済的負担が過重になるという理由で実用化が躊躇されたが、昭和28年の台風13号の被害が発生するにおよんで、現実的問題として認識されることとなった。

すなわち、米田の教訓が淀川水系改修基本計画(昭和28年策定)となるが、この中で、台風13号出水当時の宇治川の破堤がなければ枚方流量は概ね100年確率に相当することから、これが三川合流以下の計画高水流量に設定されている。また、各支川の計画高水流量は13号出水時の流量をそのまま採用せず、80年確率洪水を計算して、表1.3.1に示すように定められた。

このような情勢のなかで、昭和32年に建設省は、技術は常に整理し、体系化する作業を通じて効率的に発展するものであり、河川においてもその技術を整理し、体系化する不断努力が必要であると云う意図のもとに「河川砂防技術基準(案)」を策定した。

この河川砂防技術基準(案)において初めて基本高水と言う概念が従来の計画高水流量という概念に代わって採用されることとなった。すなわち、その後の治水計画では、もはや洪水の最大流量と言う基準のみでは適切な計画がたてられなく、洪水の総流量と継続時間さらには本支川の最大流量の生起する時差など数多くの関連要因を勘案しなければならなくなってきた。換言すれば洪水のハイドログラフそのものが計画基準として要求されるようになってきたことを示唆している。

そして、具体的な基本高水の決定には、計画対象地域の重要度に応じて年超

過確率を考慮するものとし、およその基準として、A級1/80～1/100、B級1/50～1/80、C級1/10～1/50を採用するものとした。

(2) 工事実施基本計画

河川に関する計画は総合的な観点から充分に配慮されたものであり、かつ、水系を一貫して整合のとれたものでなくてはならない。新河川法では、そのような観点から河川管理者に水系毎に工事実施基本計画の策定を義務づけている。新河川法において、はじめて工事実施基本計画の規定がなされた理由として、

- ① 短期間に実現可能な水準の低い計画目標の下では事業完成後においても、洪水の氾濫が起こる頻度は大きく、引続き、さらに安全度を引き上げるべく治水施設の整備の必要性が起こり、再改修の時点で堤防、護岸の作り直し、用地の追加買収、橋梁、堰等河川工作物の改築などの手もどりを生じ、長期的に見れば却って不経済な事業執行となる。
- ② 河川の改修はある区間だけについて工事を実施しても、その効果は発現するものでなく、河川全体として上下流・左右岸・本支川等で整合性のとれた治水機能の向上を図らざるを得ないものである。

を指摘することができる。

工事実施基本計画は河川のあるべき姿として長期的な観点から計画の目標を立てることとしたものであり、その定めるべき基本的事項は以下の通りである。

- ① 当該水系に係わる河川の総合的な保全と利用に関する基本方針
- ② 河川工事の実施の基本となるべき計画に関する事項
 - 基本高水ならびにその河道および洪水調節ダムへの配分に関する事項
 - 主要な地点における計画高水流量に関する事項
 - 主要な地点における流水の正常な機能を維持するため必要な流量に関する事項
- ③ 河川工事の実施に関する事項

このような方針に基づいて、昭和40年以降工事実施基本計画が策定されるに至った。

しかし、その計画規模は、例えば淀川水系では昭和29年に前年の13号台風の

出水を契機として策定された「淀川改修基本計画」の計画規模、すなわち、100 年確率洪水規模がそのまま採用されているように、既往最大洪水規模を年超過確率で表示したものがその殆どであった。

さて、新河川法のもとで昭和40年から第二次治水事業五箇年計画が、また、昭和43年から第三次治水事業五箇年計画が策定され、工事実施基本計画の目標に向けて治水事業は進められてきたが、一方では、国民所得倍增計画(昭和35年策定)、中期経済計画(昭和40年策定)、経済社会基本計画(昭和42年策定)の各経済計画はそれぞれの計画目標に対して大幅な経済成長を成し遂げ、わが国の社会経済は著しく高密度化することとなった。

特に大河川の下流平野部においては人口や資産の増加は非常に顕著で、一度氾濫が起これば、その被害は莫大なものとなり、その地域の中枢管理機能が停止するばかりでなく、国家経済が麻痺するような事態も考えられるので、これに対応した治水の安全度の向上が強く要請されるようになってきた。

また、流域の開発ならびに上流域の氾濫防止工事の進展により、洪水流量が集中増大し必然的に下流部河道の安全度が低下するという現象が多く、河川流域において顕在化するようになってきた。このような社会的要請に対処するため淀川等の重要河川については、早急に工事実施基本計画を改定して大幅に安全度の向上を図り、強力に治水事業の推進を図る必要があり、水文データの充実整備、解析計算技術の向上とあいまって、綿密な検討が行われるようになった。

淀川水系においては、昭和46年に工事実施基本計画の改定が行われたが、この改定は、従来の既往最大洪水を重視した考え方、および重要河川の計画規模、年超過確率1/100という枠から大きく一步踏み出した新しい考え方に基づくものである¹⁷⁾。この改定作業には筆者も参画したが、その理論的根拠を与えたものは望月の「淀川の治水計画とそのシステム工学的研究」¹⁸⁾であった。淀川の改定計画の特徴は、計画の基本量として降雨量を採用し、流域平均2日雨量を対象として、計画規模を年超過確率1/200に拡大したこと、および、それに対応する種々の降雨パターンによる計画対象高水に対し、原則としてすべて

安全に処理しうるような施設計画をたてたこと、さらに、支川または上流部について、その地域の重要度に応じて計画規模に差をつけたこと等である。これらは、その後の治水計画樹立の上に一つの方向を示したものである。すなわち、この淀川での改定を契機として、全国の一級水系の工事实施基本計画の計画規模は、

- ① 本川の計画規模は原則として降雨量（日雨量、2日雨量、3日雨量）の年超過確率で表すこととし、水系の重要度に応じて1/100、1/150、1/200の三段階にわけるとする。支川については、本川の計画規模との調整を図って定めるものとする。
- ② 水系の重要度については基準的事項として、洪水防禦対象地域（想定最大氾濫区域）の面積、資産、出荷額および人口、資産、出荷額の集中度合なら

表1.3.2 一級水系計画規模別ブロック別一覧表

確 率	北海道	東 北	関 東	北 陸	中 部	近 畿	中 国	四 国	九 州
1/200			利根川 荒 川 多摩川		木曽川	淀 川 大和川	太田川		
1/150	石狩川 十勝川	北上川 雄物川 最上川 阿武隈川 名取川	富士川 相模川 鶴見川	信濃川 阿賀野川 常願寺川 神通川 庄 川	矢作川 安部川 天竜川 狩野川 豊 川 鈴鹿川	紀の川 九頭竜川 加古川	高梁川 芦田川 旭 川 斐伊川 吉井川	吉野川 重信川	筑後川 大淀川 白 川 大分川 遠賀川 緑 川
1/100	天塩川 常呂川 釧路川 網走川 尻別川 湧別川 後志利別川 沙流川 渚滑川 鶴 川 留萌川	馬淵川 岩木川 米代川 赤 川 鳴瀬川 予吉川 高瀬川	那珂川 久慈川	小矢部川 手取川 関 川 荒 川 黒部川 姫 川 梯 川	菊 川 櫛田川 大井川 雲出川 宮 川	円山川 由良川 揖保川 新宮川 北 川	千代川 佐波川 小瀬川 江の川 天神川 日野川 高津川	那賀川 仁淀川 肱 川 土器川 物部川 渡 川	大野川 五ヶ瀬川 矢部川 球磨川 川内川 番匠川 菊地川 山国川 六角川 松浦川 小丸川 本明川 肝属川 嘉瀬川

びに洪水の規模を代表するものとしての流域面積の8項目を指標として採用し、これを点数表示することにより評価する。

③ 計画規模の決定に当たっては基準的事項をベースとし次のような調整事項について行政的に考慮するものとする。

- 将来の大規模開発計画
- 地域の中核都市としての性格（中枢管理機能）
- その他

以上の点を考慮して決定すべきであるとし、表1.3.2.¹⁹⁾に示すような目標がたてられ、昭和47年からスタートした第四次治水五箇年計画から実施に移され、現在の第六次治水五箇年計画にと受け継がれ、その間、多くの河川において工事实施基本計画の改定がなされ現在に至っている。

また、河川砂防技術基準（案）は昭和51年に改訂されたが、その中でも、各河川をその重要度に応じてA～Eの5階級に区分し、計画降雨の規模の標準を、

表1.3.3に示すように改訂している。すなわち、一級河川の主要区間においてはA～B級、一級河川のその他の区間および二級河川の都市に係わる河川はC級、一般河川はD～E級が採用されている場合が多い。

表1.3.3 河川の重要度と計画の規模

河川の重要度		計画の規模*
A	級	200以上
B	級	100～200
C	級	50～100
D	級	10～50
E	級	10以下

* 計画降雨の降雨量の年超過確率の逆数

3-2 総合的な治水対策

戦後の治水事業が前述したような変遷を辿るなかで、治水事業をとりまく各種の条件に大きな変化が現れてきた。すなわち、昭和30年代に入って始まった河川氾濫区域における急激な都市化現象は40年代に入っても衰えをみせるどころか、表1.3.4.²⁰⁾に示すように一層の進展をしてきた。

その結果、

① 地価の高騰などによる河川改修の進捗の停滞

② 河川流域の開発による保水・遊水機能の低下

③ 河川周辺の低地への人口・資産の集積

④ 地盤沈下の進行による排水不良

など、都市部における洪水氾濫被害が発生しやすい条件が形成されてきたのである。

表1.3.4 氾濫区域内人口資産の推移

	昭和35年		昭和40年		昭和45年		昭和50年		昭和55年	
	実数	シェア	実数	シェア	実数	シェア	実数	シェア	実数	シェア
面積	377,700	100	377,700	100	377,700	100	377,700	100	377,700	100
(km ²)	38,000	10	38,000	10	38,000	10	38,000	10	38,000	10
人口	9,342	100	9,828	100	10,370	100	11,194	100	11,706	100
(万人)	4,174	45	4,506	46	4,797	46	5,231	47	5,640	48
資産	121	100	197	100	311	100	494	100	593	100
(兆円)	62	51	116	59	196	63	334	68	427	72

(注) 1. 上段は全国合計値、下段は河川氾濫区域内値である。 2. 昭和55年価格
3. シェアは%

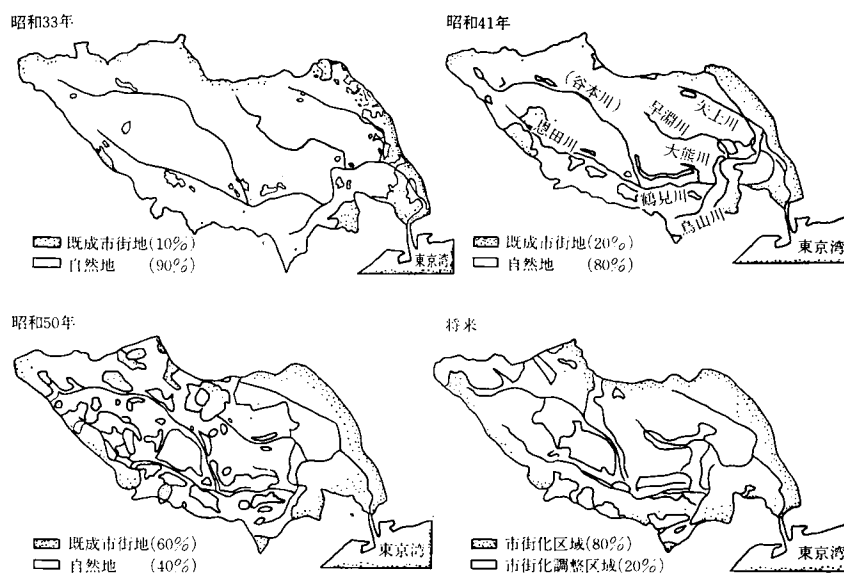


図1.3.1 鶴見川流域の土地利用の変遷

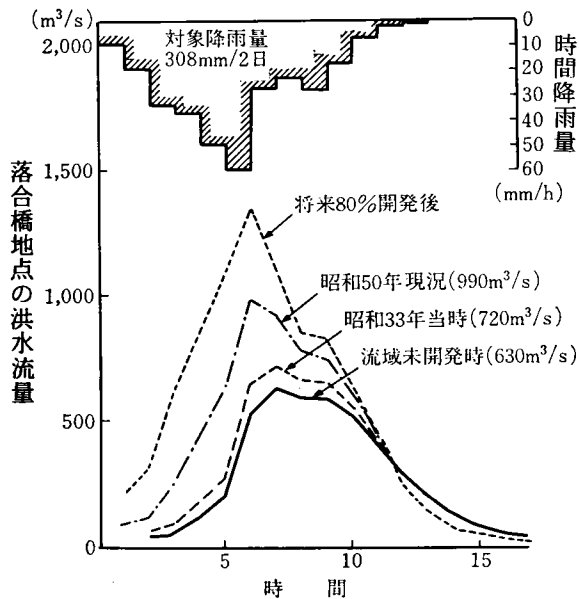


図1.3.2 流域の開発と落合地点の洪水流量の変化

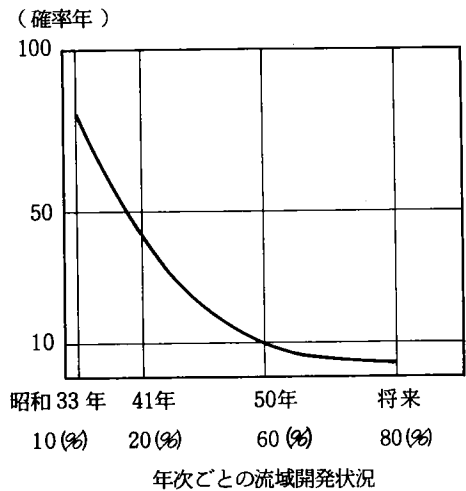


図1.3.3 950m³/sの安全度の移り変わり

因に図1.3.1～図1.3.3に鶴見川流域における土地利用の変遷とそれに伴う流出形態の変化およびその結果として治水安全度がどのように推移してきたかを示した。²¹⁾

このように都市における河川流域の急速な開発の進展と人口・資産の集中により、治水施設整備の努力にも係わらず、図1.3.4に示すように、²²⁾一旦洪水災害が発生した場合の被害密度(一般被害額/浸水面積)は年々増加

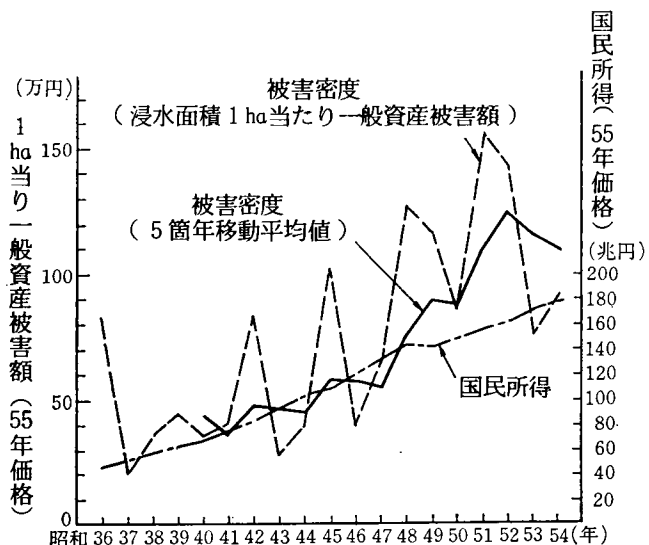


図1.3.4 浸水面積1ha当たりの一般資産被害密度の推移

してきており、治水事業の推進にもかかわらず毎年大きな被害が発生している。

一方、都市部においては、従来のような河道拡幅などによる対策は年々困難となっており、こうした状況のなかで、治水事業を促進するとともに流域における土地利用の適正化、保水・遊水機能の確保等の施策を総合的に講じることの必要性が指摘されるようになってきた。

そこで、昭和51年10月に総合的な治水対策の推進方法は如何にあるべきかについて、建設大臣から河川審議会に対し諮問が行われ、審議会は、

- ① 河川流域のもつべき保水・遊水機能を設定し、その機能を確保するための諸施策を策定すること
- ② 洪水氾濫予想区域および土石流危険区域を設定し、公示すること
- ③ 治水施設の整備については、長期的な工事实施基本計画のみならず、必要に応じて当面目標とする緊急整備目標を設定すること
- ④ 治水施設の現況ならびに緊急整備目標に対応して、水害に安全な土地利用方式および建築方式の設定を図ること
- ⑤ 洪水時の諸情報を住民へ速やかに伝える体制を強化すること
- ⑥ 土石流危険区域における警戒避難体制の整備を図ること
- ⑦ 水防体制の強化を図ること

等を骨子とした中間答申を行った。

この答申をうけ、建設省では「総合治水対策協議会」を設置し、昭和54年度には建設省としての総合治水対策の進め方として、図1.3.5に示すような概念に基づき、当面、概ね10箇年程度で時間雨量50mm相当（年超過確率1/5～1/10）の降雨に対する治水上の安全を確保することを目標とした総合治水対策特定河川制度が発足した。その主な施策内容は以下のとおりである。

- ① 河川改修事業の積極的促進
- ② 流域における適正な保水・遊水機能の維持、確保についての方針および対策等を内容とする流域整備計画の策定とそれに基づく対策の実施
- ③ 浸水実績の公表

そして、表1.3.5に示すように、昭和57年度までに特に流域の都市化の著しい鶴見川等14河川を総合治水対策特定河川として指定し、河川事業を促進する

一方、河川管理者、関係地方公共団体等からなる流域総合治水対策協議会を設立し、流域整備計画の策定、浸水実績の公表等が進められている。

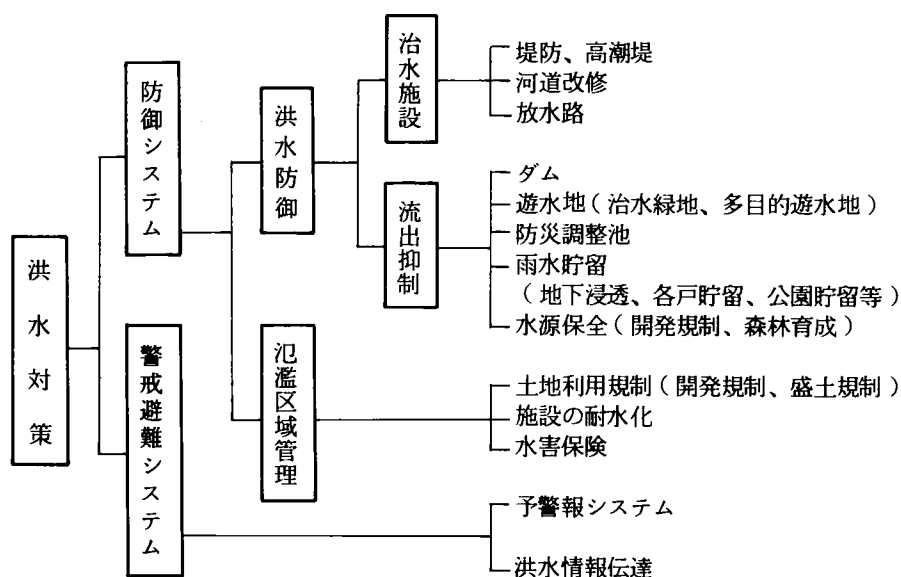


図1.3.5 総合的な治水対策の概念

表1.3.5 総合治水対策特定河川の進捗状況

(59年12月現在)

河 川 名	水系名	都道府県	流域総合治水対策協議会発足年月	流域整備計画策定年月	浸水実績公表年月
鶴見川	鶴見川	東京・神奈川	55年 9月	56年 4月	56年 6月
新川岸川	荒 川	埼玉・東京	55年 8月	57年 8月	56年 6月
猪名川	淀 川	大阪・兵庫	55年 9月	57年 3月	56年 7月
引地川	引地川	神奈川	55年11月	56年 5月	56年 6月
境 川	境 川	神奈川・東京	55年11月	56年 5月	56年 6月
巴 川	巴 川	静岡	55年 9月	57年 5月	57年 3月
真間川	利根川	千葉	55年12月	58年 3月	58年 8月
新 川	庄内川	愛知	55年 9月	57年 2月	57年 2月
伏籠川	石狩川	北海道	55年 7月	56年 3月	56年 5月
中川・綾瀬川	利根川	埼玉・東京	55年 8月	58年 8月	56年 6月
残堀川	多摩川	東京	56年10月	57年 8月	57年 9月
目久尻川	相模川	神奈川	56年 9月	57年 7月	57年 7月
大和川北部	大和川	奈良	58年 2月	60年度 *	58年 6月
境川	境 川	愛知	57年 7月	58年 8月	58年 9月

(注) *は予定である

3－3．河川激甚災害対策特別緊急事業

激甚な災害が発生した場合、堤防等の公共土木施設に大きな被害の生じた河川については、その災害復旧費に合わせて一定の改良費を加え、災害復旧助成事業あるいは災害関連事業として4箇年程度で再度災害の防止が可能な事業を実施できることになっている。

しかしながら、一般災害が激甚であっても、公共土木施設被害が無い場合、または公共土木施設被害があった場合にも、既に改良計画がある区間（直轄河川の全区間および補助河川の改修実施区間）については、助成、関連の採択は不可能となっている。

従って、このような場合には、本来の河川改修事業で促進を図ることにより、再度災害を防止すべく対処されてきたが、一般改修の予算規模の枠内では到底十分な対応が出来ないため、特に制度を創設する必要性を筆者等は主張してきた。²³⁾ その結果、優先的な予算措置により、早期に再度災害防止を可能とすることを目的とした河川激甚災害対策特別緊急事業（以下「激特事業」と呼ぶ）が昭和51年度に発足した。激特事業は現実に破堤した以上、少なくともこの災害を受けた地域が今後再び同様の現象により、同様の災害を受けることのないようにするという、すなわち、民生安定上極めて有意義であるとの行政上の判断に基づいたものである。

激特事業に採択される条件は、河川の氾濫による一区域の被害、あるいは一市町村の区域内の1水系に係わる被害が、流出または全壊家屋が50戸以上であるもの、或いは浸水家屋数が2,000戸以上のものであるとし、また、その採択基準は、全体事業費が10億円以上であって、かつ、原則として当該災害による一般被害額に相当する額を限度とすることとし、その施工区域は災害の発生状況を十分に検討し、必要最少限の区域とすることが決められている。また、その施行年度は事業を採択した年度から5箇年を目途に概成するものとしている。

なお、激特事業は昭和59年度、すなわち、制度が発足して9年目であるが当初予算において795億円であり、河川事業費全体7,378億円の約10.9%の構成比となっている。

第4節 治水計画における今日的課題と本研究の意義

第2節および第3節において、社会経済情勢の移り変わるなかでわが国の治水計画の考え方および手法がどのように変遷してきたかを概観してきた。本論の研究課題である段階的治水計画と云う視点から明治以降の治水事業の変遷を要約すると以下のとおりである。

(1) 河川に求められる機能の変遷

明治初期の舟運を対象とした低水工事に始まった直轄河川事業は、旧河川法の制定された明治29年以降は高水工事が主体となり、ついで昭和10年から河水統制事業として利水事業が、また、新河川法の制定とほぼ期を同じくして河川環境整備事業の必要性が指摘されると云うように変化してきた。すなわち、河川に求められる機能は単一的機能の追求から今日のように治水・利水・環境機能を総合的に計画管理することの必要性が要請されるに至っている。とはいえ、治水機能の整備は時代を越え、また、地域性をも越えて河川事業の中でも最も中心的な事業であることは現在も否めない。

(2) 治水方式の変遷

一方、治水の方式も時代時代の科学技術の進展とともに大きく変化してきた。すなわち、河水統制事業以前の治水事業においては治水の方式は築堤および河道の掘削が主であった。その後、発電を中心とした利水機能の整備が要請されるようになってからは上流部において洪水調節のためのダムや遊水地方式が採られるようになった。また、昭和40年代以降の都市化流域における治水事業の持つ諸問題が論議されだすとともに、河道における治水対策のみでは事態を回避することが不可能と考えられるに至り、洪水災害に強い土地利用の誘導や建築方式の誘導など、流域での治水対策を含めた総合的治水対策の必要性が打ち出され今日に至っている。

(3) 治水計画規模の変遷

つぎに治水事業の計画規模の変遷をみるならば、新河川法が制定される以前においては既往最大主義が主流であったが、水文統計学の進歩とともに、治水安全度は洪水の生起確率で評価されるようになってきた。その結果、治水事業

の計画規模の持つ経済的意義が明らかにされるようになって、今日では各河川流域の社会的・経済的重要度に見合った計画規模が設定されるに至っている。

4-1. 治水計画における今日の課題

三全総策定後、図1.4.1に示すように人口の地方定住傾向が進むなど、わが国の経済社会は徐々に三全総の計画した方向へと向いつつある。このような時代の潮流の中で、定住構想の理念を継承し、発展させることの意義と必要性は年々高まってきている。そのための重要な施策は国土基盤整備であることは言うに及ばず、なかでも治水施設整備の果たす役割には非常に大きく期待されていると言えよう。(千人)

しかしながら、三全総計画策定後のわが国の経済環境は経済成長の鈍化や財政制約の顕在化によって、公共投資の実績は計画を下回り、また、今後ともかつての高度成長期のような大幅な伸びを期待し難い。

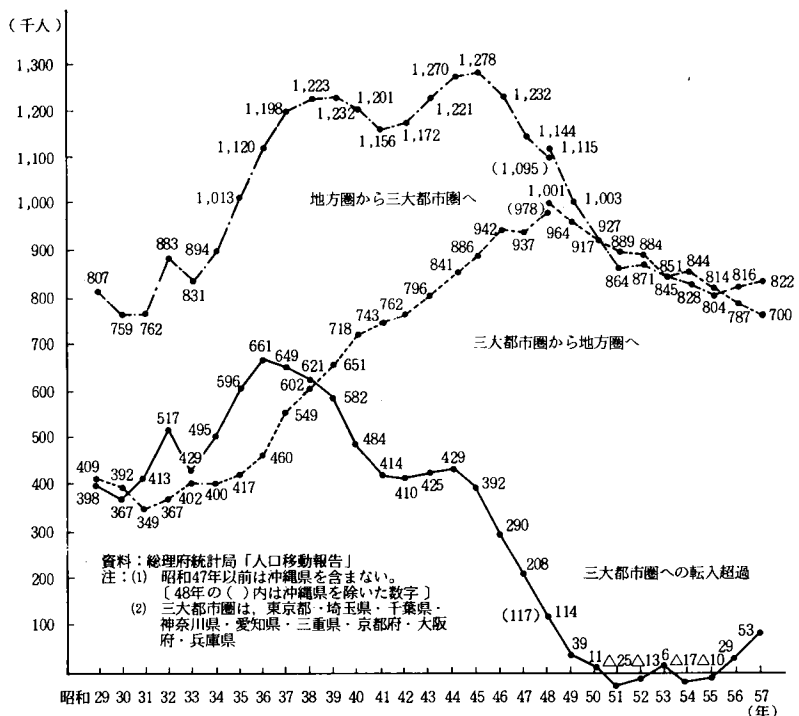


図1.4.1 大都市圏、地方圏別転出人口の推移

このような状況のもとで、治水施設整備を進めていくに当たっては、治水計画は以下のような点に十分な配慮が要請される。

① 計画行政への貢献

経済社会が高密度化するとともに、各種の社会資本整備計画相互の関連が強まり、あるいは、施設の大規模化により、その影響が広域化してきている。

このため、社会資本整備計画相互の調整を図り、地域計画の進展に貢献すること。

② 事業効果の早期発現

社会資本の整備は限られた予算の中で早期に効果を挙げることを要請されている。治水事業は社会資本整備のなかでも最も重要な施策であり、そのため、今日の財政制約の厳しい条件の中で如何に早期に効果を発現するかが大きな社会的関心事となる。

③ 合意の形成

21世紀の社会に向けて、国民のニーズの高まりや価値感の多様化に伴い、国土基盤の整備に対する国民の関心が高まるとともに、国土基盤整備の在り方が国民生活に与える影響は大きい。近年、表 1.4.1 に示すように水害訴訟が多発しているが、今後このような事態をできる限り回避していくには流域住民や関係各機関に計画に対する合意を得る仕組み、すなわち、ソフトの整備が望まれる。

表1.4.1 水害訴訟の発生件数の推移

年 度	40年以前	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	計
件 数	3	1	1	2	1	1	7	7	1	18	5	8	4	4	2	2	0	2	3	72

4－2．本研究の意義

現在、主要河川流域において、各流域の社会的・経済的重要性を勘案した計画規模をもつ工事实施基本計画が策定され、その完成に向けて鋭意努力がなされている。工事实施基本計画は前述してきたように各流域の社会的経済的重要性を勘案して、その流域の治水水準の有るべき姿として長期的目標を設定したものであり、その完成に向けての具体的なプロセスは規定されていない。そのため、治水事業を進めていく過程において以下のような問題点が指摘されるようになってきている。

① 安定成長期を迎えたわが国の経済状況にあって、公共事業投資に大きく

期待出来なくなっており、工事实施基本計画の完成に超長期を必要とする。そのため、計画完成後の治水水準もさることながら、その間の治水事業の社会的経済的評価が大きな意義を持つことになる。

- ② 流域の社会経済活動が高密度化するに伴い、他の社会資本整備事業計画と治水事業計画との関わりも大きくなり、工事实施基本計画の超長期化した目標のみでは各種事業計画との調整が困難となってきた。
- ③ また、超長期化した工事实施基本計画の目標を、単年度予算で事業を実施していく場合、ともすれば住民や自治体の目先の声に惑わされないとも限らないと云ったような理由で、事業を計画的に推進していくことが困難となることが危惧される。

上記の各問題点は、超長期化した工事实施基本計画の完成に向けての段階的治水計画の策定の必要性を指摘したものである。

段階的治水計画は冒頭でも述べたように、

〔A〕社会経済的情勢から当面の治水整備目標を設定する、いわゆる中間目標の計画

〔B〕上記で設定される中間目標をどのような手順で実施するか、いわゆる段階的施工計画の2つの計画レベルに区分して捉えることができる。

本論は、上記した課題意識のもとで工事实施基本計画の目標をどのようにして段階的に向上させるべきか、また、その当面の目標に向けてどのような手順で事業を実施していくのが社会的にも経済的にも望ましいかについて研究するものである。

参考文献

- 1) 建設省; 日本の河川, 1982
- 2) 建設省河川局河川計画課; 日本の河川像を求めて, 1983
- 3) 沢本守幸; 公共投資 100年の歩み, 大成出版, 1982
- 4) 建設省近畿地方建設局; 淀川百年史, pp.712~722, 1971
- 5) 高橋裕; 水のはなし, pp.164~169, 技報堂出版, 1982

- 6) 建設省近畿地方建設局; 淀川百年史, p.87, 1971
- 7) 沢本守幸; 公共投資 100年の歩み, p.76, 大成出版, 1982
- 8) 建設省近畿地方建設局; 淀川百年史, pp.791~799, 1971
- 9) 同 上, pp.907~909, 1971
- 10) Fuller, W.E. ; Flood Flows, Trans, ASCE, vol 77, pp.564~617, 1914
- 11) Foster, H.A ; Theoretical Frequency Curves and Their Application to Engineering Problemes, Trans. ASCE, vol. 87, pp.142~173 1924
- 12) Hazen, A ; Discussion on Flood Flows by Fuller, W.E., Trans. ASCE vol. 77, p.628 1914
- 13) 石原藤次郎 岩井重久;水文学－水文図学－水文統計学 (I), (II), 土木技術, (1946)
- 14) 中安米蔵; 治水計画における洪水流量について－千代川を中心として－, 京都大学学位論文, 1950
- 15) 石原藤次郎, 上山惟康; 忠別川の計画高水流量について, 全国災害復旧促進連盟 pp. 1~78, 1953
- 16) 米田正文; 淀川計画高水論, 九州大学学位論文, 1952
- 17) 岸田隆; 淀川の流量改訂(1), (2), 月刊建設, vol. 5, 6, 1971
- 18) 望月邦夫; 淀川の治水計画とそのシステム工学的研究, 京都大学学位論文, 1970.
- 19) 岸田隆; 第四次治水事業五箇年計画 (案), 河川, vol 9, pp. 6~14, 1971.
- 20) 建設省河川局; 日本の河川と治水事業, p.6, 1982
- 21) 同 上, p. 25
- 22) 建設省河川局河川計画課; 日本の河川像を求めて, p.456, 1983
- 23) 岸田隆; 激特事業の思い出, 河川レビュー NO. 44, pp.10~11, 1983

第2章 治水計画から見た河川流域の特性に関する考察

第1節 概説

治水計画は一般に、図2.1.1に示すような概念として捉えることができる。すなわち、治水計画という視点から、流域は社会・経済、自然、治水という3つの環境（ここでは環境を広義な意味で用いる）が相互に干渉するダイナミックなシステムとして認識できる。治水計画はこのダイナミックな関係の中に様々な治水手段を作用させ、流域の健全な発展を促すことと言える。図中Aの作用は一般にダム開発、河道改修等のハードな治水手段が相当し、Bの作用は氾濫区域内の土地利用の適正化や警戒避難体制の確立などソフトな治水手段が相当する。

治水計画としてAとBの作用のさせ方は、流域の自然的条件や社会・経済的条件など流域特性により異なるが、例えば、都市化流域においては図2.1.2に示すようにAの作用により、システムのダイナミックな挙動を望ましい状態へと制御することが年々困難となつてきており、Bの作用によることの必要性が大きく指摘されている。

反面、都市化のあまり進展していない流域、言い換えれば、これから地域開発の望まれる流域では、Aの作用による効果は大きいと言えよう。このように、

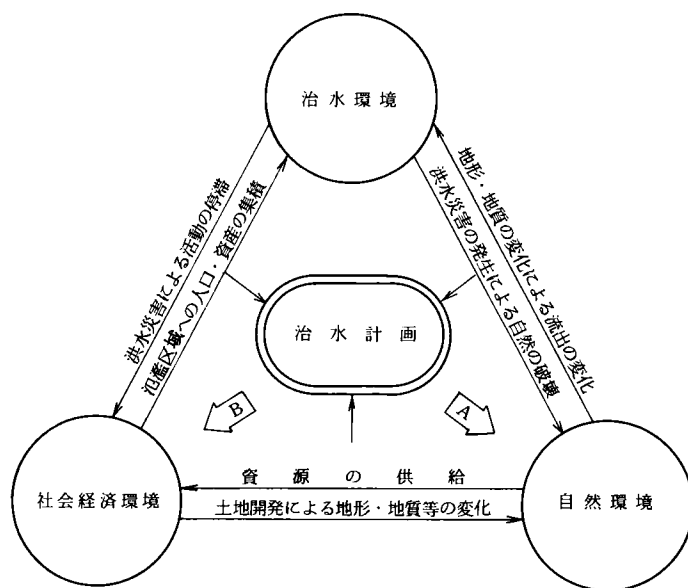


図2.1.1 治水計画の概念

AおよびBの作用を如何にバランスさせ、流域の健全な発展を導くかが治水計画の本来の課題と言える。そのためには、上記の3つの要素間の因果関係を明らかにしておくことが必要となる。

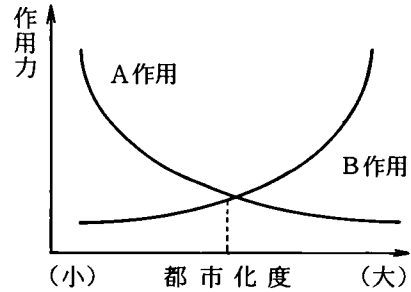


図2.1.2 都市化度と治水手段

一方、治水事業をとりまく自然的、社会・経済的条件は年々厳しくなっている。その結果、治水事業を推進する場合、

ややもすれば近視眼的、対症療法的になることが危惧される。そのため、治水事業は各河川流域がどのような治水特性を有しているかについて十分な検討を行い、長期的、抜本的な視点から計画されねばならない。

さて、洪水は水系により独立した現象であり、洪水の様相は降雨の規模、流域の地形・地質状態や河道の形態など自然的条件によって変化し、また、洪水災害が発生した場合の被害の規模とその内容は、治水施設の整備水準や氾濫区域内の社会・経済的条件によって変化する。

そのため、治水事業は流域固有の対応が必要となるが、一方では自然的、社会・経済的条件の類似した河川流域においては、治水上の問題点や課題等に多くの共通した側面を有しているとも言える。このように考えると、これら洪水氾濫の形態や被害の程度を規定する自然的、社会・経済的条件の類似性をもって、河川流域を幾つかのパターンに分類し、そのなかで、治水上の問題点や課題の共通性を分析しておくことは、治水計画を立案するうえで重要なことと言えよう。

第2節 河川流域の類型化¹⁾

上述してきたような観点から、本節では全国の主要一級河川流域（109水系119河川流域）を対象とし、①治水ポテンシャル、②社会ポテンシャルと云う2つの側面から類型化することとした。なお、類型化に際して使用したデータは建設省河川局「河川現況調査」²⁾によるものである。

2-1. 治水ポテンシャル

河川流域の治水ポテンシャルPを、治水の事業規模と保全規模と云う2つの側面から、

$$P = f(a, h, q, b)$$

と定義する。

ここに、a：氾濫区域面積、h：氾濫区域内人口、q：基本高水流量およびb：堤防区間延長（完成堤防＋未完成堤防）である。

このように考えると、図2.2.1に示すように、上記の4指標で構成される4つの二次元平面内の $P_1 \sim P_4$ の各点で形成される矩形の面積によって、治水ポテンシャルの大きさSを、

$$S = L_1 \times L_2$$

と表現することが可能と考える。

ここに、

L_1 ：矩形の縦軸で治水の保全規模

L_2 ：矩形の横軸で治水の事業規模である。

ところで、治水ポテンシャルPの大きさSが同じ場合においても、矩形の形によって治水ポテンシャルPの性格が異なる。

ここでは、矩形の形状Rを、

$$R = L_1 / L_2$$

と定義し、Rの値によって治水ポテンシャルの性格を表すこととする。

すなわち、Rの大きな河川流域は事業規模に比べて保全規模が大きく、相対的に治水の事業効率は高いと言えよう。また、このような河川流域は一般に平地性河川流域に多く見受けられる。一方、Rの小さな河川流域は一般に山地性河川流域に多く見受けられ、治水事業規模に比べて保全規模が小さく、事業効率の低い場合が多いと言えよう。

このSとRからなる二次元平面を図2.2.2に示すように5つに分割し、それぞれを以下のように呼ぶことにする。

- ・大規模平地性流域

- ・大規模山地性流域
- ・小規模山地性流域
- ・小規模平地性流域
- ・平均的流域

以下に各類型の治水特性について考察する。なお、図2.2.3は全国主要一級河川流域をこの二次元平面に投影した結果である。

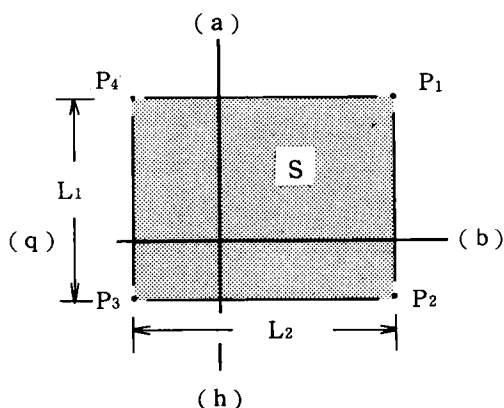


図2.2.1 治水ポテンシャルの概念

① 大規模平地性流域

この類型には利根川、淀川、石狩川、木曽川、信濃川、荒川（関東）が属するとともに、大和川、庄内川、中川などの都市化河川流域が含まれる。

これら河川流域は一般に治水ポテンシャルは非常に大きく、また、

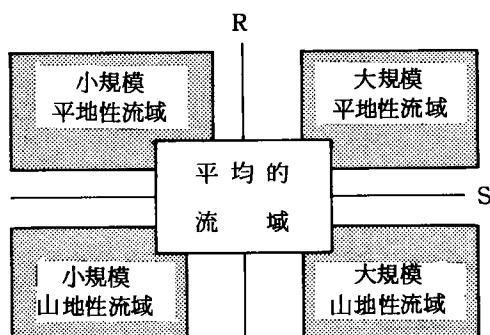


図2.2.2 類型化の視点(治水ポテンシャル)

治水事業の規模に比べて保全対象規模の大きい流域と言えよう。

② 大規模山地性流域

治水ポテンシャルは大規模平地性流域について大きく、内容的には治水事業の規模に比べて、保全対象規模は小さい。この類型に属する河川流域としては天竜川、吉野川、富士川、紀の川、仁淀川等がある。

③ 小規模山地性流域

この類型には、渡川、大野川、松浦川、宮川、物部川等が位置し、治水ポテンシャルは低く、また、事業規模に比べて保全対象規模の小さな河川流域と言える。

④ 小規模平地性流域

この類型に属する河川流域は、治水ポテンシャルは相対的に低く、また、治水事業規模に比べて保全対象規模が大きい河川流域といえる。この類型には、

鶴見川、猪名川、土器川等が位置する。

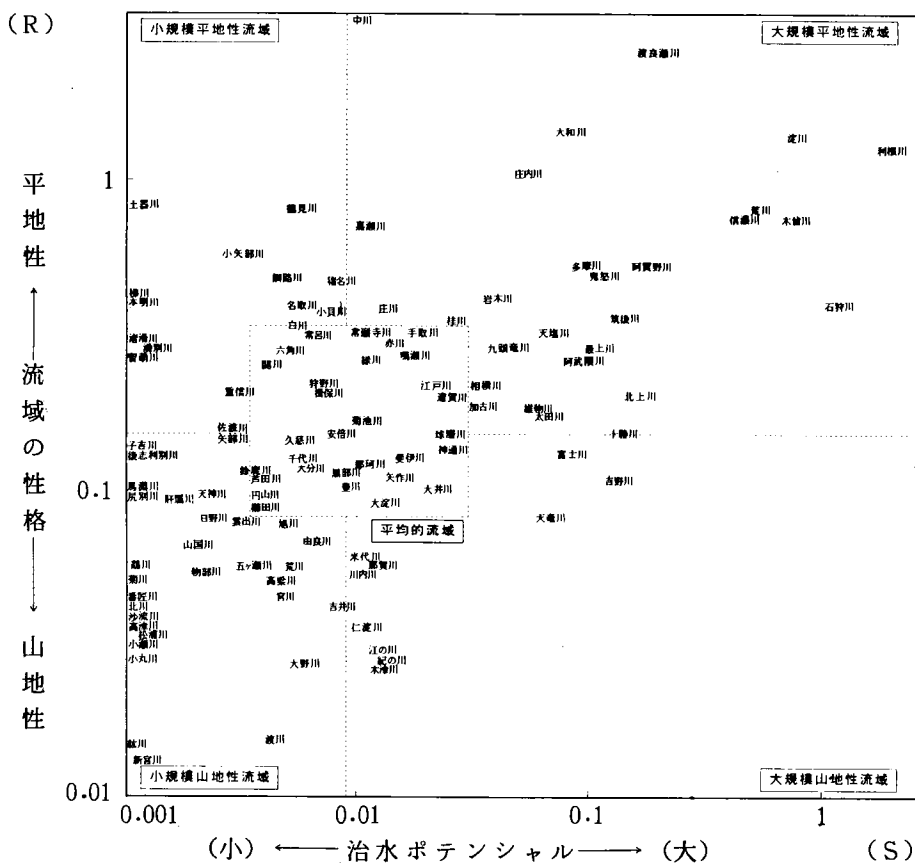


図2.2.3 全国主要一級河川流域の類型化（治水ポテンシャル）

2-2. 社会ポテンシャル

治水計画の立場から、流域の社会ポテンシャルを見る指標として、氾濫区域における人口密度と人口の伸び率（昭和55年／35年）を取り上げ、全国主要一級河川流域の類型化を行う。

ここでは、図2.2.4に示すように氾濫区域内人口密度 P_D と人口の伸び率 P_G とで構成される二次元平面を5つに区分し、各々を以下のように呼ぶこととした。これらの類型の治水特性について考察を行う。なお、図2.2.5は全国主要河川流域がどの類型に属するかを調べたものである。

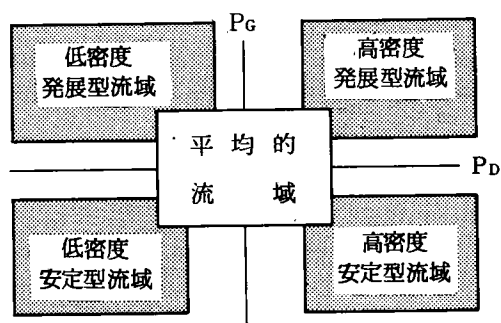


図2.2.4 類型化の視点
(社会ポテンシャル)

高密度発展型流域：人口密度は高く、人口の伸び率も大きな流域。

高密度安定型流域：人口密度は高いが、人口の伸び率はそれ程大きくない流域。

低密度発展型流域：人口密度はそれ程高くはないが、人口の伸び率の高い流域。

低密度安定型流域：人口密度、人口の伸び率ともに低い流域。

平均的流域：人口密度、人口の伸び率ともに平均的な流域

① 高密度発展型流域

既成の都市部において治水事業の被害軽減効果は大きいですが、一方、人口の急増に伴う外延的都市機能の拡大により、開発に伴う洪水流出の増大や保全対象資産の空間的拡大に治水事業の進捗が追いつかないといった問題、地価が高騰するといった視点から事業に必要な用地の買収が困難となる問題などを孕んでいると言えよう。さらには、高密度に集積した都市機能を保全するため、都市区間における超過外力への対応の重要性和未改修区間の改修促進といった2つの性格の異なる対応が求められる河川流域と言えよう。この類型には多摩川、鶴見川、淀川、大和川等が位置する。

② 高密度安定型流域

人口の集積は大きく、これまでの治水粗資本ストックも大きいと考えられるが、将来、超過外力対策が治水事業の大きな課題となる河川流域と言えよう。また、こうした流域においては既存の道路や鉄軌道など社会資本の老朽化現象

や都市の再開発などにより各種の社会資本整備事業の拡大が想定され、今後はこれら各種の事業計画と河川改修事業計画との調整が必要となろう。荒川（関東）、庄内川、白川等がこの類型に属している。

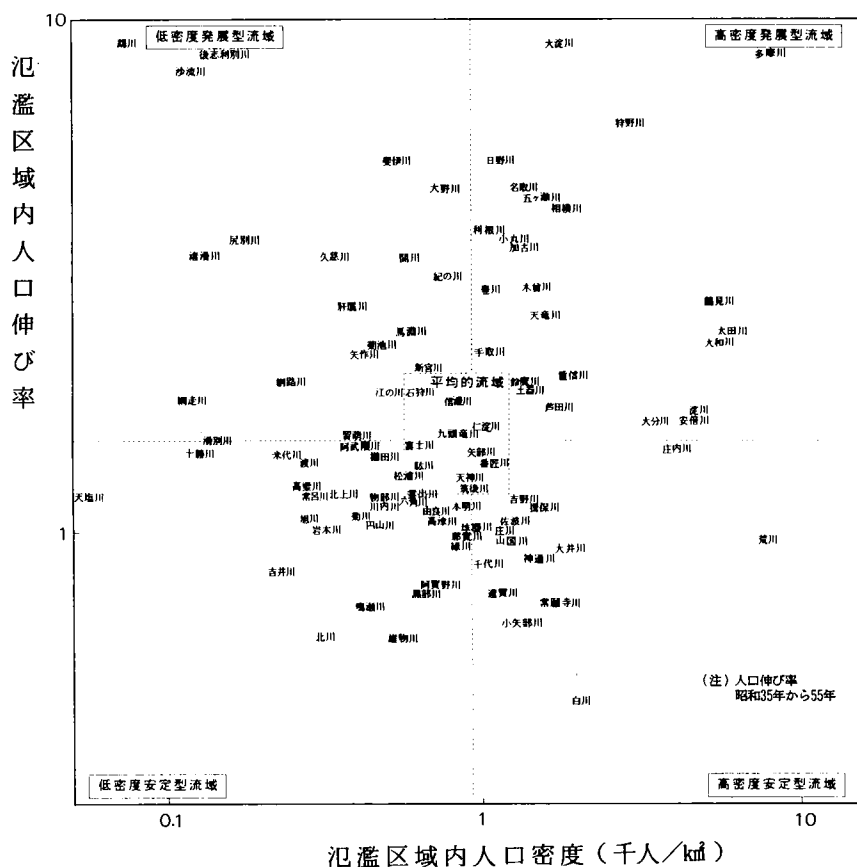


図2.2.5 全国主要一級河川流域の類型化（社会ポテンシャル）

③ 低密度発展型流域

この類型には、沙流川、後志利別川、尻別川、斐伊川等が位置し、人口の集積規模はそれ程ではないが、地域開発のテンポの速い流域である。この流域の治水特性としては、現状の治水水準が低く、地域計画から治水水準の向上を求められ、その対応が重要な課題となることが想定される。

④ 低密度安定型流域

人口集積が低く、その伸びも低いため一般に治水事業の経済的効率性は低い。

また、保全対象地域が集落単位で点在している場合が多く、地先主義的な改修事業方式がとられやすく、そのため、上下流、左右岸問題等が顕在化し易いと言えよう。また、定住圏構想の具体化により、将来、流域開発計画がなされている所も含まれ、地域開発と治水事業との係わりを重視した事業の推進が課題となろう。この類型には、吉井川、北川、雄物川、鳴瀬川等が属している。

以上、治水ポテンシャルおよび社会ポテンシャルの両側面から河川流域を類型化してきた。河川流域の治水特性は、これら両ポテンシャルの相対的な関係により規定されるものとする。両ポテンシャルを組み合わせることにより、本来、河川流域は25のパターンに分類されるが、全国主要一級河川流域をこれらのパターンに当てはめると図2.2.6に示すように23パターンに分類された。これらの各パターンの治水特性については、治水ポテンシャル、社会ポテンシャルの個々において考察したような特性を合わせ持つと言え、ここでは、その説明を省略する。

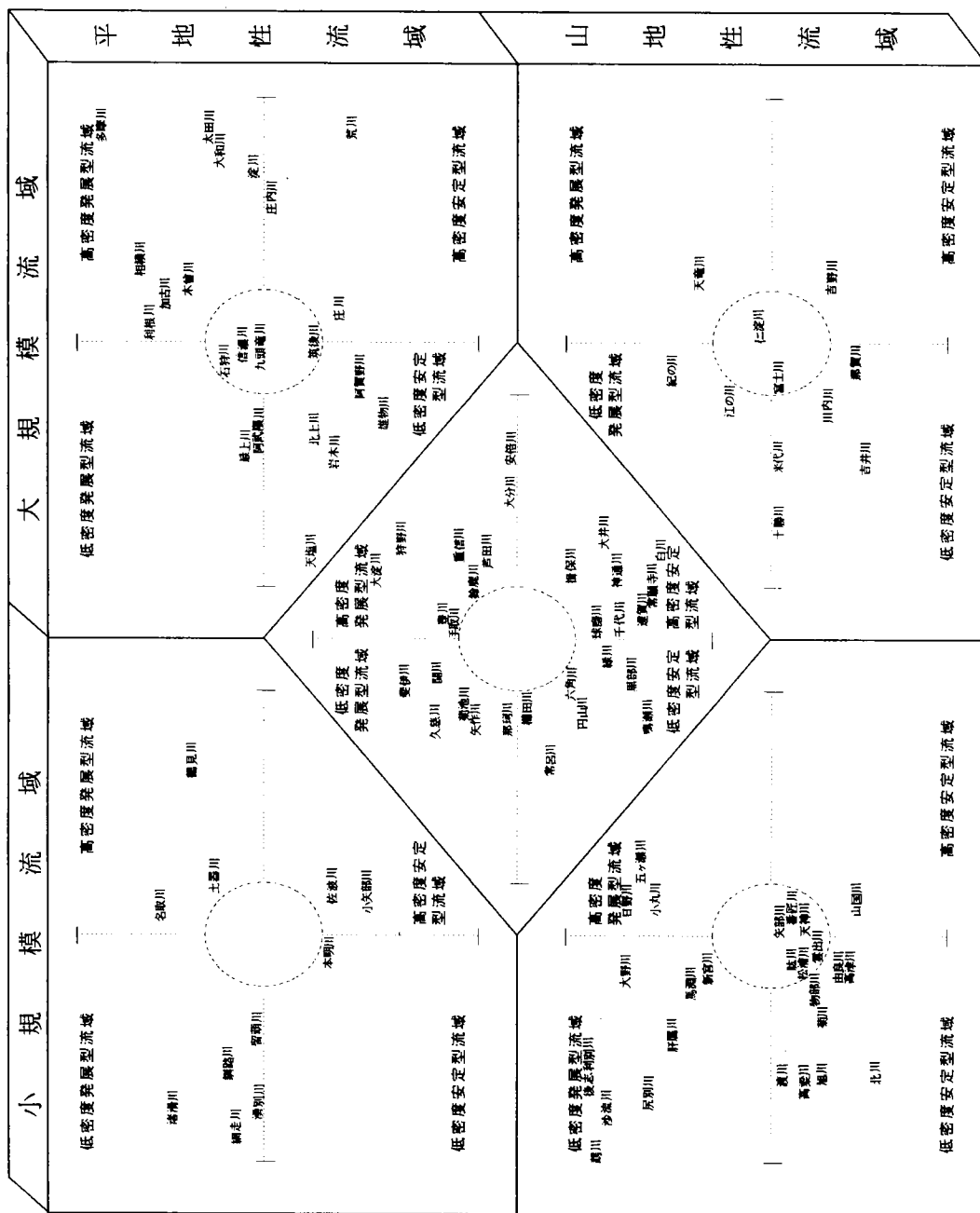


図2.2.6 全国主要河川流域の類型化

第3節 河川管理者からみた治水計画上の問題点と課題

近年、都市河川区域における人口や資産の集積、一方では、地方における都市化の進展などにより、治水事業の守備範囲の拡大とその質的水準の向上に対する社会的要請は日増しに増大してきている。しかしながら、近年の厳しい予算制約や環境保護問題との対応など治水事業をとりまく制約もますます厳しくなっている。前節で河川流域を治水ポテンシャルと社会ポテンシャルという視点から類型化してきた。このようにして、類型化された河川流域の治水特性についての分析を行うに当たって、本節では全国主要一級河川の管理に携わっている工事事務所長に依頼して行った治水計画上の問題点と課題に対するアンケート調査の結果を紹介する。

3-1. 治水計画上の問題点

現在の治水事業（主として河川改修事業）に内在している問題点として表2.3.1に示す9項目を挙げ、全国主要一級河川流域におけるこれら問題点の大きさをアンケートにより調べた。その結果は図2.3.1に示すとおりである。これによると、「改修事業の進捗に対して、氾濫区域への人口資産の集積が著しい」と云う問題点を指摘される河川流域が多く、ついで、「河道改修事業と水門や排水機場の建設時期の調整」、「環境保全との調整」と云う問題点の指摘が多い。

表2.3.1 治水計画上の問題点

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">① 本川と支川との改修進捗度のバランスの確保と云う問題。② 上下流の調整と云う問題。③ 左右岸の調整と云う問題。④ 改修の進捗に対して氾濫区域への人口・資産の集積が著しいと云う問題。⑤ 改修の進捗に対して、流出増を招く流域の開発が著しいと云う問題。⑥ 用地買収における地価の高騰が著しいと云う問題。⑦ 他の社会資本整備計画との調整と云う問題。⑧ 環境保全との調整と云う問題。⑨ 河道改修と水門や排水機場の建設時期の調整と云う問題。 |
|---|

反面、「左右岸の調整」を指摘される河川流域は少ない。つぎに、これら治水計画上の問題点として指摘した9項目を、以下のように3つの問題側面に分類した。この3つの問題側面にアンケート調査結果を整理（例えば、地域間問題の評価値は項目①、②、③のアンケートの解答をたして3で割った値とした）したものが図 2.3.2.である。

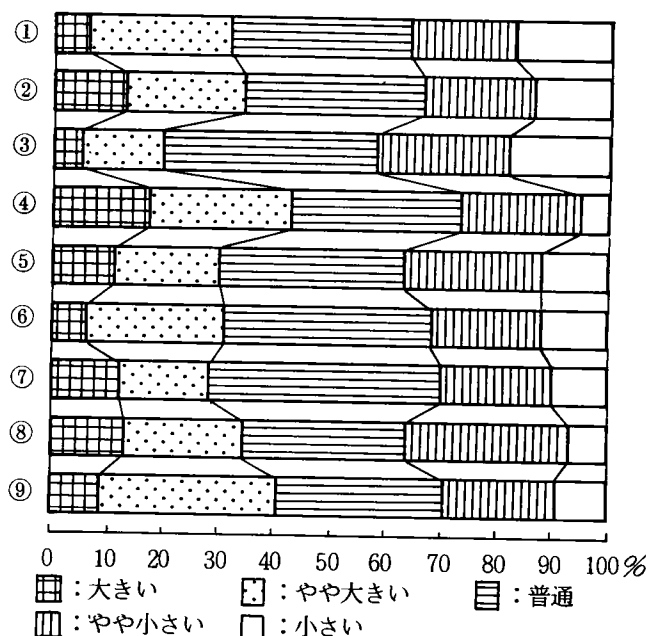
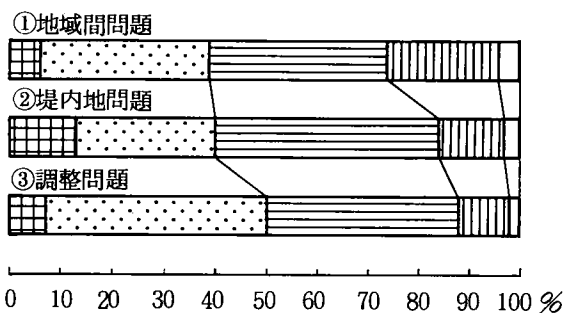


図2.3.1 治水計画上の問題点に関するアンケート調査の結果

- 地域間問題
 - 本川と支川との改修進捗度のバランスの確保と云う問題。
 - 上下流の調整と云う問題。
 - 左右岸の調整と云う問題。
- 堤内地問題
 - 改修の進捗に対して氾濫区域への人口・資産の集積が著しいと云う問題。
 - 改修の進捗に対して、流出増を招く流域の開発が著しいと云う問題。
 - 用地買収における地価の高騰が著しいと云う問題。
 - 他の社会資本整備計画との調整と云う問題。
- 調整問題
 - 環境保全との調整と云う問題。
 - 河道改修と水門や排水機場の建設時期の調整と云う問題。

その結果、3つの問題側面に顕著な差は認められないが、堤内地問題が比較的大きく指摘されている。



注) 凡例は図 2.3.1 と同じ
図2.3.2 治水計画上の3つの問題側面に関するアンケートの再集計

3-2. 治水計画の課題

河川流域の治水計画上の問題点について前項で分析を行ってきた。つぎに、そのような問題点に治水計画として、今後どのように対応していくべきか、すなわち、治水計画の課題について考察する。

治水(主として河川改修)計画における課題として、筆者の経験から表2.3.2に示す8項目を抽出した。河川管理者にこの8項目の中から、各河川流域において特に留意すべきと考える3項目をアンケート調査により指摘していただいた。その結果は図2.3.3に示すとおりである。これによると、・事業の経済的効率の追求、・未改修区間の解消、・整備進捗度の均衡化等が課題として強く認識されているようである。

表2.3.2 治水計画の課題

①	事業の経済的効率の追求。
②	被害の地域的なアンバランスの是正。
③	地域開発との協調。
④	近年の被災状況への対応。
⑤	整備進捗度のバランスの確保。
⑥	未改修区間の改修の促進。
⑦	重要区間の改修の促進。
⑧	堤防の質的安全度の確保。

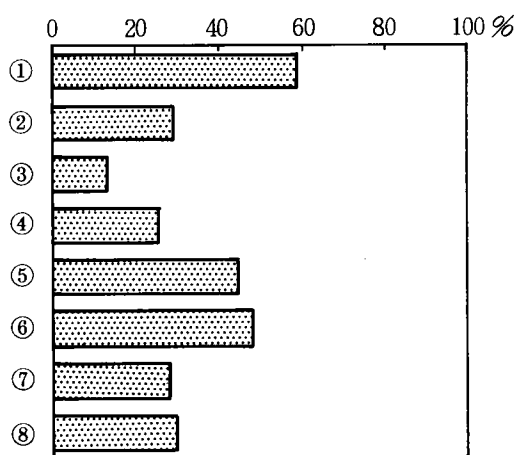


図2.3.3 アンケート調査結果の概要

第4節 河川流域の類型と治水特性

以上、第2節において河川流域の類型化を行うとともに第3節において全国主要一級河川流域の治水計画上の問題点と課題についての考察を行ってきた。そこで、本節ではこの両者を重ね合わせるにより、各類型化された河川流域の治水事業を推進していく上での問題点と課題について考察を加える。

4-1. 治水ポテンシャルによる河川流域の類型と治水特性

流域の氾濫区域面積、氾濫区域内人口、堤防区間延長および基本高水流量の指標を用いて、全国主要一級河川流域を5つの類型に区分してきた。それらを

本論では、・大規模平地性流域、・大規模山地性流域、・小規模平地性流域、・小規模山地性流域および、・平均的流域と呼び、各類型に属する河川流域の治水特性について若干の考察を加えてきたが、ここでは工事事務所長に対して行ったアンケート調査結果との関連についてみる。

図2.4.1は表2.3.1に示した治水計画上の9つの問題点に関するアンケートの結果を同心円グラフに整理したものであり、図中の■のトーンを配した部分

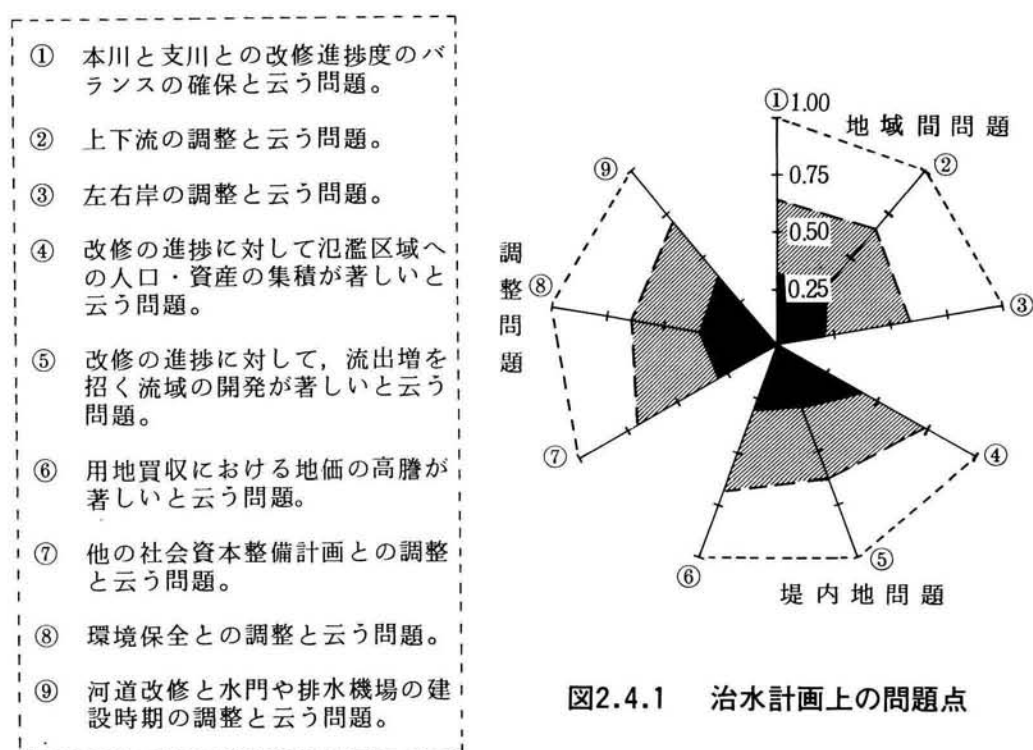


図2.4.1 治水計画上の問題点

は各項目に、“問題が大きい”、“問題がやや大きい”と指摘された河川流域の構成比を前述した地域間問題、堤内地問題、調整問題という3つの側面に集約して示したものであり、黒い部分の面積は3つの問題側面の大きさを表現している。また、図中の▨はアンケートに“普通”と指摘された河川流域の構成比率を示したものである。これを治水ポテンシャルによって類型化された河川流域毎に整理したものが図2.4.2である。

① 大規模平地性流域

他の類型に比較して、9項目ともに問題の程度が大きい。とりわけ、調整問題において3項目とも問題点が大きく指摘されている。また、「改修の進捗に対して、氾濫区域の人口・資産の集積が著しい」と云う問題点が強く指摘されている。

② 大規模山地性流域

この類型においては、堤内地問題の占めるウェイトが大きく、なかでも、「改修の進捗に対して、氾濫区域内の人口・資産の集積が著しい」と云う問題点がかなり多くの河川で指摘されている。また、「河道改修と水門や排水機場の建設時期の調整問題」に対する指摘も多い。

③ 小規模山地性流域

この類型に属する河川流域においては他の類型に比べて、問題点の小さな河川流域と言えよう。とりわけ、地域間問題、堤内地問題ともに問題が大きいと指摘される割合が低い。

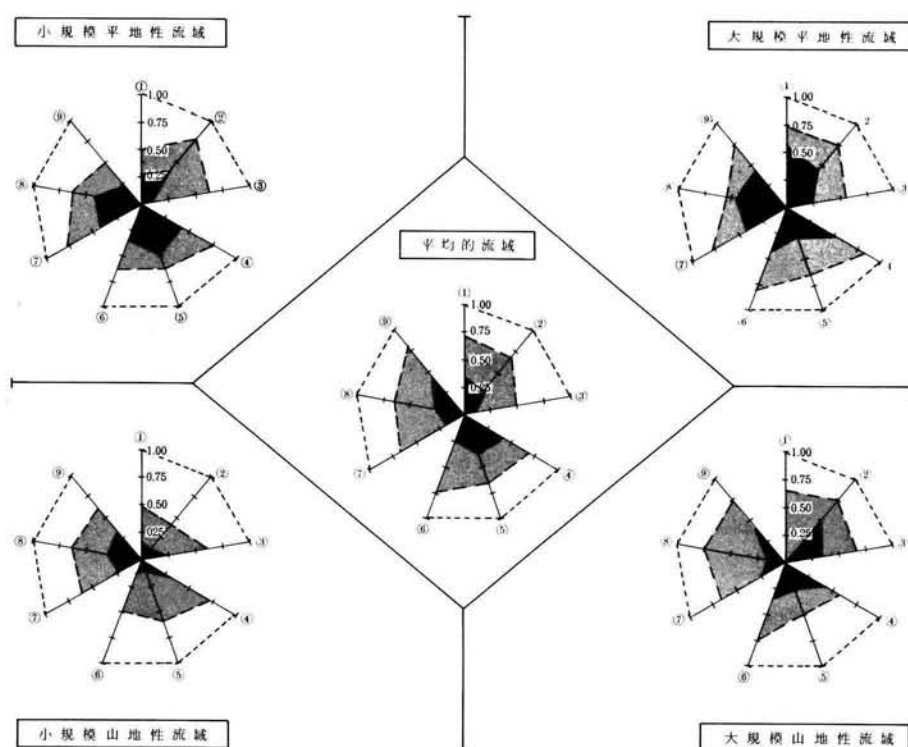


図2.4.2 治水ポテンシャルによる河川流域の類型と治水計画の問題点

④ 小規模平地性流域

大規模平地性流域と同様に多くの問題点を抱える河川流域と云える。大規模平地性流域と比較すると堤内地問題が比較的大きく指摘されており、なかでも「流域の開発に伴う流出増」と云う問題点がとりわけ強く指摘されている。

⑤ 平均的流域

各類型の問題点を合わせもち、また、各問題の大きさもほぼ均衡している。

つぎに、各類型の治水事業の効率性について検討を行った。各河川の治水事業効率 P^* を、

$$P = \frac{D^0 - D^T}{C}$$

と定義する。

ここに、 D^T ：工事実施基本計画完成時の年平均被害額³⁾

D^0 ：未改修状態での年平均被害額（但し、資産は現状）³⁾

C ：既往投資総額＋工事実施基本計画の残事業費
（ダム・砂防は除く）³⁾

である。

すなわち、 P の値が大きな河川は治水事業の効率が高いと云うことが出来よう。全国の主要一級河川流域の治水事業効率を調べたものが図2.4.3である。これによると、 P の平均値は0.71であるが、0.5以下の河川流域が6割を越えている。図2.4.4は治水ポテンシャルによる各類型毎の治水事業効率 P の分布を見たものである。

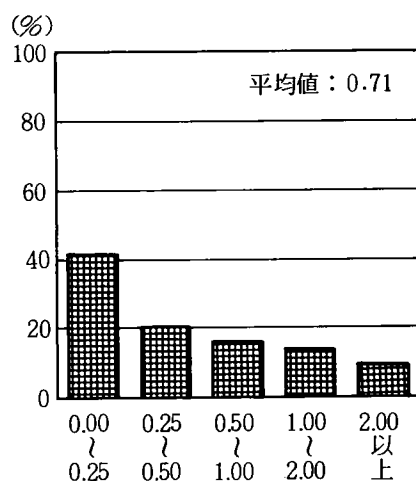


図2.4.3 治水事業効率

この結果をみると、概して平地性流域における治水事業効率は高く、山地性流域のそれは低いと言える。なかでも、大規模平地性流域の事業効率は小規模山地性流域のほぼ2倍の事業効率となっている。

*：一般に言われている費用便益比を意味していない。

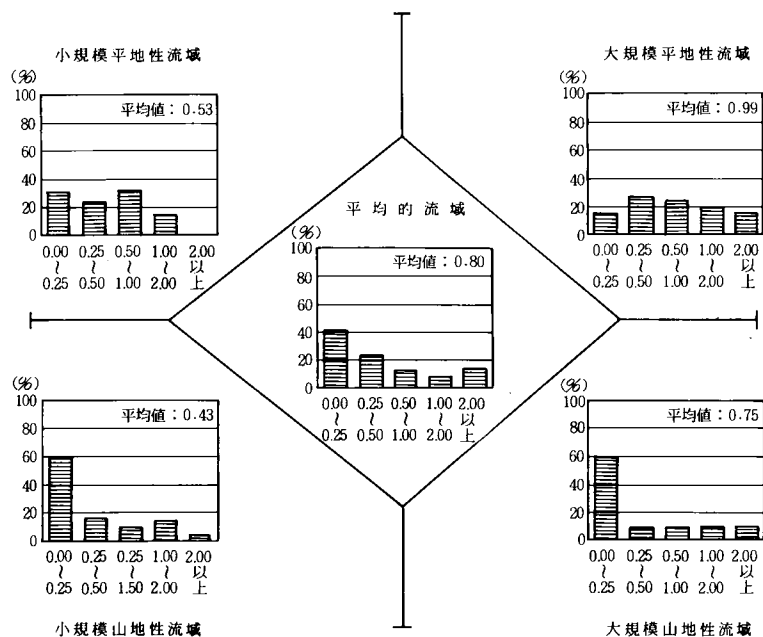


図2.4.4 類型（治水ポテンシャル）別治水事業効率

4-2. 社会ポテンシャルによる河川流域の類型と治水特性

つぎに、氾濫区域内の人口密度とその伸び率を指標として行った、社会ポテンシャルによる河川流域の類型と治水計画上の問題点について考察を加える。

社会ポテンシャルからみた河川流域の類型として、○高密度発展型流域、○高密度安定型流域、○低密度発展型流域、○低密度安定型流域および○平均的流域と云う5つの河川流域に類型化してきた。これら類型に属する河川流域と治水計画上の問題点について分析したものが図2.4.5である。また、図2.4.6は各類型別に治水事業効率をみたものである。

① 高密度発展型流域

他の類型に比較して最も問題点の大きな河川流域と言える。とりわけ、堤内地問題、調整問題において多くの問題を抱えている。一方、治水事業効率についてみると、効率の高い河川流域が多くを占めている。

② 高密度安定型流域

高密度発展型流域について問題点の大きな河川流域が多い。また、治水事業効率の高い河川流域が多い。

③ 低密度安定型流域

他の類型に比べて、問題点の少ない河川流域が多くを占めている。しかしながら、治水事業効率の低い河川流域が多く、この点が治水事業の大きな問題点として指摘出来よう。

④ 低密度発展型流域

治水事業上の問題点は低密度安定型流域と同じようであるが、人口の伸び率の高いことを反映して、堤内地問題の占めるウエイトが高くなっている。治水事業効率もそれ程高くなく、今後の治水事業上の問題点となることが予想される。

⑤ 平均的流域

治水事業の問題点として、堤内地問題はあまり大きくは指摘されていないが反面、地域間問題の大きな河川流域が多いと言える。また、治水事業効率は平均的である。

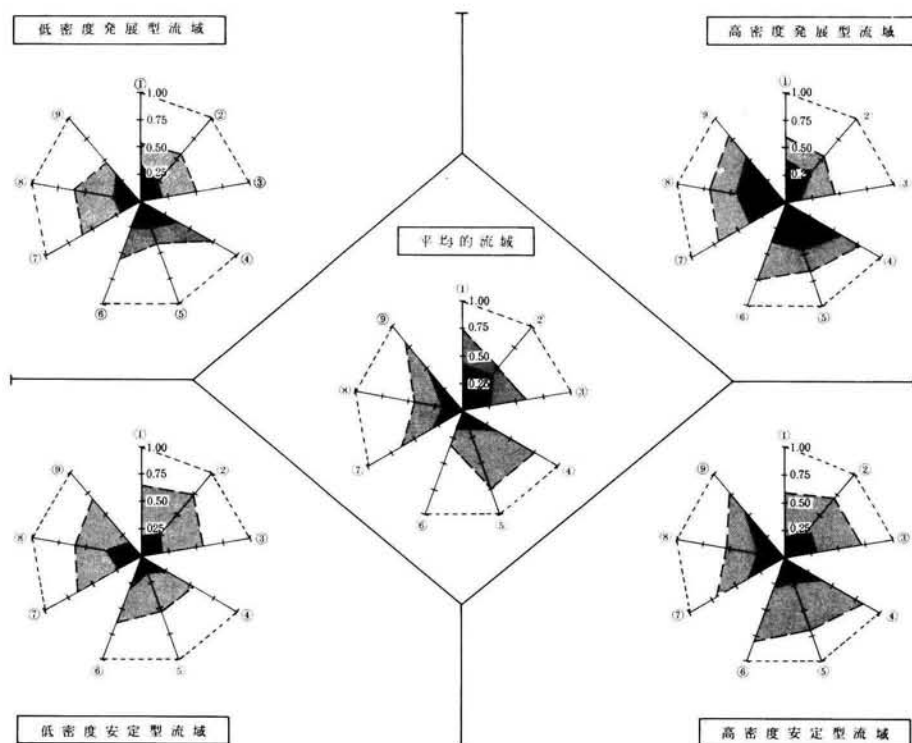


図2.4.5 社会ポテンシャルによる河川流域の類型と治水計画の問題点

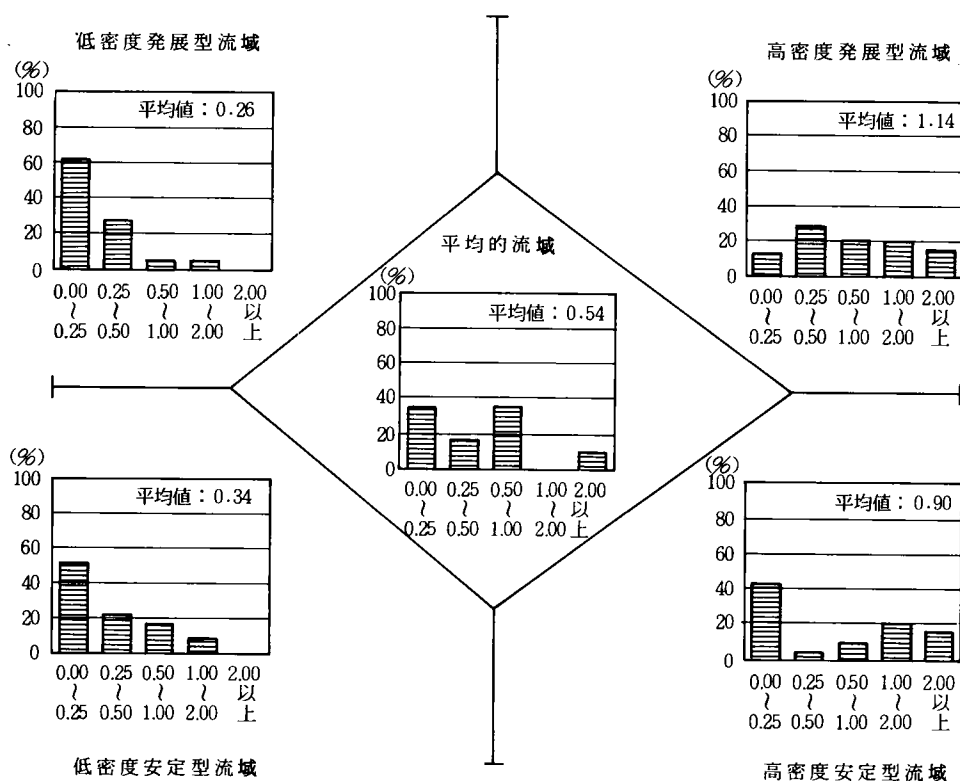


図2.4.6 類型（社会ポテンシャル）別治水事業効率

4-3. アンケートに基づく河川流域の類型化

2節において、流域の治水ポテンシャル、社会ポテンシャルと言う2つの側面から全国主要河川流域を類型化してきたが、つぎに、3節で紹介したアンケート調査結果を用いて、すなわち、河川管理者の意識を介して、河川流域の類型化を行う。

(1) 治水計画上の問題点から見た河川流域の類型化

治水計画上の問題点として指摘した9項目を用いて、各問題側面間の関連性を数量化理論Ⅲ類モデル⁴⁾により分析した。分析の結果得られた2つの特性軸をもって、各項目を二次元平面図にプロットしたものが図2.4.7である。この2つの特性軸に解釈を加えると以下のようなものである。

I 軸：改修事業において事業の施工順位づけの困難さを示す項目が正の方向に
反面、負の方向には氾濫区域内における事業推進上の行政的な困難さを

示す問題点が位置づけられる。

Ⅱ軸：正の方向には流域開発による洪水流出増の問題が特化し、負の方向に氾濫区域への人口・資産の集積による問題が位置する。

この分析結果を用いて、全国主要一級河川流域を2つの軸で構成される空間に投影した結果が図2.4.8である。

図中のA～Eの領域に属する河川の治水事業上の問題点を考察すると以下のようなものである。

① 領域Aに属する河川流域
河川改修事業において、上下流問題、左右岸問題等が顕在化し、施工順位の計画が困難な河川と言えよう。また、上流域の開発に伴う洪水流出増を如何に処理するかという点においても困難さを有する河川流域と言える。

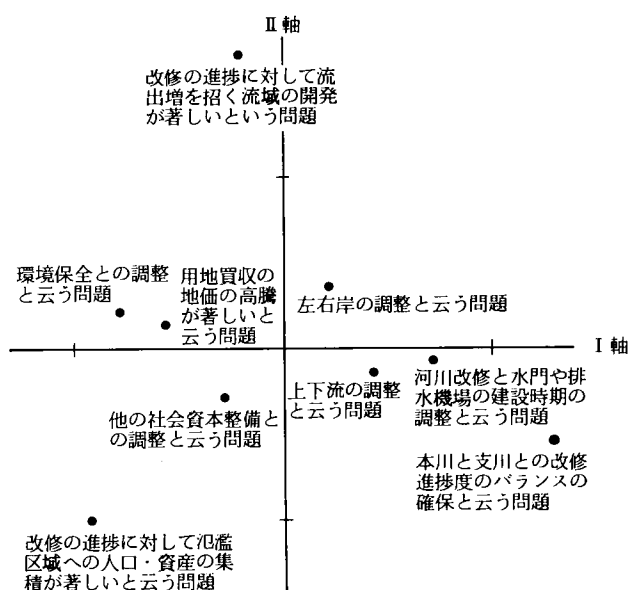


図2.4.7 数量化理論Ⅲ類モデルによる分析結果

当該河川流域においては、河川改修事業の進め方が洪水氾濫形態にどのような変化をもたらすかを十分に検討し、単に事業の経済的効率を追求するのではなく被害の地域的なアンバランスを是正していくことが強く要請されるものと考察する。

② 領域Bに属する河川流域

領域Aと同様に、被害の地域的なアンバランスを是正することに傾注する必要性の高い河川流域であると言えよう。また、氾濫区域内への人口・資産の集積が著しく、そのため、洪水氾濫危険区域の公示等を通じて氾濫区域内の土地利用の適性化を図るとともに、一方では将来の保全対象資産の地域的な分布を十分に把握して、改修事業を進めていく必要性が高い。

③ 領域Cに属する河川流域

改修事業そのものの持つハードな面の困難さよりも、むしろ氾濫区域内における事業推進上の行政的な問題点が大きく、そのため、住民や関係各機関との調整を如何に行うか、と云ったソフトな面の対応が要請される流域と言えよう。また、長期的・計画的な視点から用地買収を進めて行くことが重要な河川流域と言えよう。

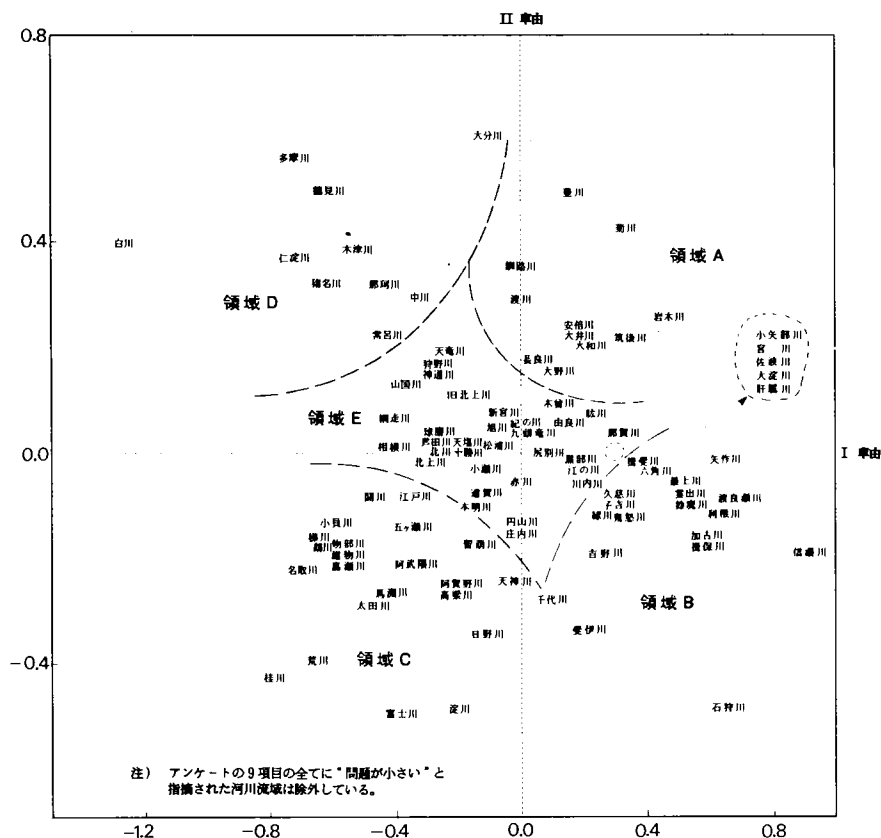


図2.4.8 数量化理論Ⅲ類モデルによる河川流域の分類

④ 領域Dに属する河川流域

領域Cと同様の問題を有する流域で、もはやハードな対策のみで十分な治水機能を維持することが困難で、総合的治水対策の強く要請される河川流域と言えよう。とりわけ、上流域の開発による流出増を以下に抑制するかが大きな問題点と言えよう。

⑤ 領域Eに属する河川流域

以上のA～Dの流域の持つ問題点を合わせ持つ場合が多いと推測され、河川改修上、困難さの高い流域と考えられよう。

以上、アンケート調査結果に基づき河川流域を類型化した結果と第2節で行った類型化の結果との関連性について検討を行ったが、現段階では、有意な関係を認めることは出来なかった。その理由として、①河川流域の類型化に使用したデータが流域全体のマクロな情報レベルであるのに対し、アンケートの設問内容は流域内部のミクロな情報レベルと言え、結果的に両分析の情報レベルが十分に対応していないこと。②アンケート調査において、回答者が他の河川流域との比較を十分念頭に置いていないと思われること。等を指摘することができる。

(2) 他の類型化事例との比較

建設省では「流域経営調査」⁵⁾において全国主要河川流域(二級水系を含む199水系)を対象として、治水・利水・環境機能からみた流域の診断を行っている。ここでは、そのうち、治水機能からみた流域診断の結果を紹介する。

この調査報告によると、治水管理といった面から、表2.4.1に示す6項目により、河川流域を、

表2.4.1 治水管理からみた流域診断項目

A : 氾濫区域の人口・資産の集積
B : 氾濫区域の広さ
C : 開発による被害ポテンシャルの増大
D : 自然加害力の大きい氾濫区域への人口・資産の集積
E : 氾濫区域外の平地の分布
F : 近年の洪水による被害状況

「赤信号流域」：治水に関する課題発生のパテンシャルの高い流域、および、現在すでに何らかの課題が生じている流域

「黄信号流域」：将来、流域の開発のあり方によっては治水に関する課題の発生のポテンシャルが高くなることが予想される流域

「青信号流域」：現在、将来とも治水上の課題発生ポテンシャルの低い流域と

云う視点から診断している。全国主要河川流域の診断結果は図2.4.9に示すとおりである。なお、この流域診断に当たっては、氾濫区域面積が50km²以下の河川流域は対象外とされている。

この結果を、前掲図2.2.6に重ね合わせたものが図2.4.10である。

本論で提案した河川流域の類型別にみると、大規模平地性河川流域においては、その殆どの河川流域が「赤信号流域」と診断されており、前述してきたように、河川管理者の指摘している治水計画上の問題点の大きさも、ほぼ一致した結果となっている。また、治水ポテンシャルの平均的でかつ高密度発展型流域、高密度安定型流域における大部分の河川流域が「赤信号流域」と診断されている。つぎに、大規模安定型流域においては「黄信号流域」と診断されている河川流域が多い。一方、「青信号流域」と診断されている河川流域は治水ポテンシャルが平均的で社会ポテンシャルの低密度な流域に多い。

第5節 結言

本章では、治水事業は本来、河川流域の自然的、社会・経済的特性に応じて固有に計画されるべきであることを述べるとともに、そのための河川流域の特性と治水特性の関係について考察を進めてきた。本章で得られた成果は以下の通りである。

① 河川流域の類型化

治水と云う視点から、流域の特性を表す指標として、治水ポテンシャルと社会ポテンシャルを提案した。

河川流域の治水ポテンシャル P の大きさ S を、氾濫区域面積 a と氾濫区域内人口 h で説明されるであろう保全対象の規模と、一方では、その河川の堤防区間延長 b （完成堤防＋未完成堤防）と基本高水流量 q とで示される治水事業規模の2つの側面から定義した。また、保全対象規模と治水事業規模の比 R で各河川流域を平地性流域と山地性流域に分類した。この S と R を基本として、全国主要一級河川流域を、・大規模平地性流域、・大規模山地性流域、・小規模山地性流域、・小規模平地性流域および・平均的流域の5つのタイプに類型化した。

流域号	流域名
A	想定氾濫が域へ入規模に人口の増産の増産した流域
B	広大な想定氾濫域・域を有する流域
C	開発による増産ポテンシャルの高い流域
D	想定氾濫が域に人口・増産の増産した自然加増力の大きい流域
(D ₁)	流域平均が5000m以上
(D ₂)	流域平均が5000m以上
(D ₃)	流域平均が2800m以上
E	平均のほとんどが想定・域であり、そこに人口・増産の増産した流域
F	近年水害による被害の大きい流域

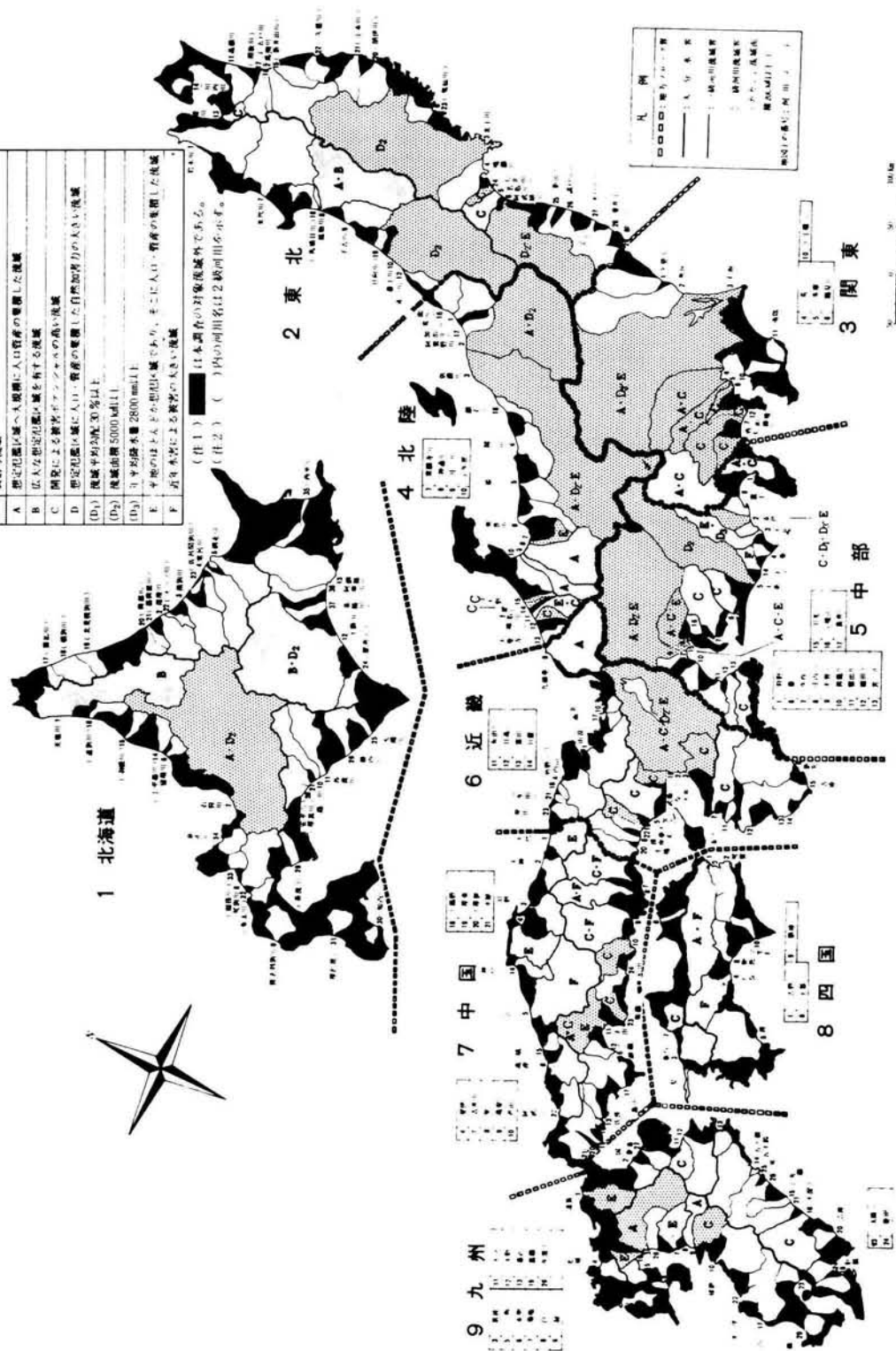
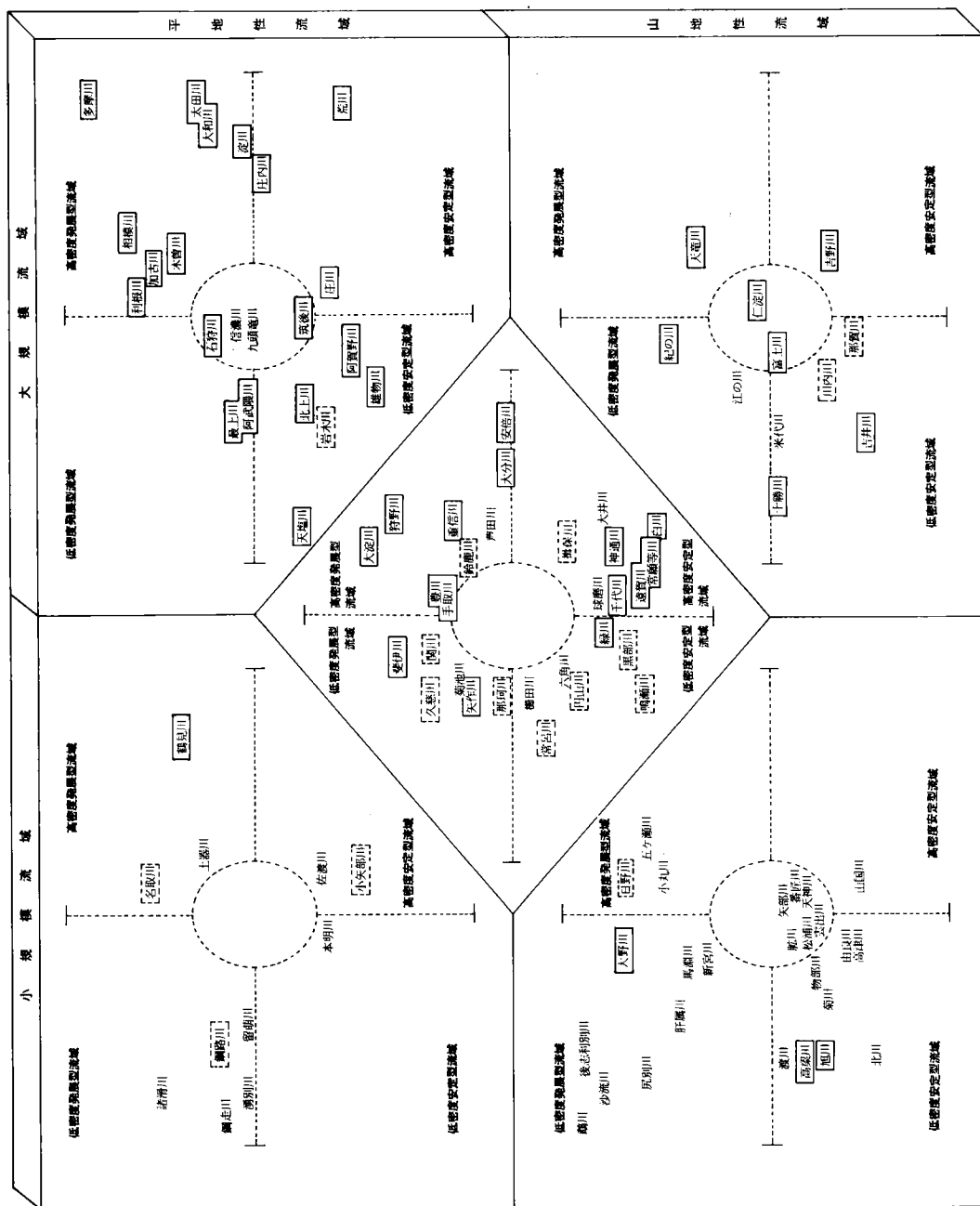


図2.4.9 流域診断の結果



凡例

赤信号

黄信号

青信号

枠なし調査対象外

図2.4.10 河川流域の類型化と治水機能から見た流域診断との比較検討

その結果、筆者をはじめ河川管理者の各河川流域に対する治水イメージとほぼ一致した類型化が可能となった。

つぎに、氾濫区域内の人口密度 P_0 とその伸び率 P_0 を基本指標とした社会ポテンシャルを定義し、河川流域を、・高密度発展型流域、・高密度安定型流域、・低密度安定型流域、・低密度発展型流域および・平均的流域の5つのタイプに類型化した。その結果、河川管理者の各河川流域の社会的重要度のイメージと一致するものとして評価できるものが得られた。

② 河川流域の類型化と治水特性

つぎに、各河川流域の管理に携わっている工事事務所長に対して行った、治水計画上の問題点と今後の課題についてのアンケート調査結果の概要を紹介するとともに、本論で提案した各河川流域の類型化の結果とアンケート調査結果を重ね合わせることで、各類型化された河川流域の治水計画上の問題点を明確にすることが可能となった。その結果、治水ポテンシャルの高い流域、また、高密度に発展、成熟した社会ポテンシャルの高い河川流域において、総じて治水計画上の問題点の大きいことが明らかとなった。また、各類型の治水事業効率について分析を行った結果によれば、治水ポテンシャルが高く、また、高密度に発展した流域の治水事業の効率が総じて高くなっていることが明らかとなった。

③ 河川管理者の意識から見た河川流域の分類

つぎに、アンケート調査結果に数量化理論Ⅲ類モデルを適用して、河川管理者の見識に基づく河川流域のパターン分類をおこなった。その結果、治水計画において、同様の問題点や課題を有する河川流域を抽出することができた。しかしながら、この分類結果と河川流域の定量的な指標を用いて、治水ポテンシャルおよび社会ポテンシャルの両側面から類型化した結果との関係について分析したところ、現時点において、有意な関係を見出すことは出来なかった。その原因としては、アンケート調査の内容は主として流域内部の詳細な情報レベルであるのに対し、後者の情報レベルが流域全域の情報となっていたことを指摘できる。

④ 他の調査研究事例との比較

最後に、建設省で行われた流域診断結果と本論の類型化を対比したところ、流域診断において、「赤信号流域」として指摘されている河川流域の多くが、大規模平地性流域および平均的流域に偏っていると同時に、また、社会ポテンシャルからみても、高密度発展型流域もしくは高密度安定型流域に偏在していることが明かとなった。

以上、流域の類型化と各類型における治水計画上の問題点と課題について考察を行ってきた。この考察結果をもとに、各類型において、現在、問題となっている事項を治水計画として如何に対応していくかについて、本論の第3章において治水計画の中間目標の計画、又第4章において、中間目標に向けての段階的施工計画の最適化に関する検討と云った面から考察する。

参考文献

- 1) 岸田 隆、島田健一；河川流域の治水特性について，河川，1984年12月号
- 2) 建設省河川局；河川現況調査〔全国総括編調書〕，昭和40,47,53年版
- 3) 建設省河川局治水課；治水事業の効果に関する検討報告書,1981
- 4) 林知己夫；データ解析の考え方，東洋経済新報社,1977
- 5) 長期計画－流域経営調査報告書－；建設省中国・中部・九州地方建設局，1979

第3章 治水計画の中間目標の設定に関する研究

第1節 概説

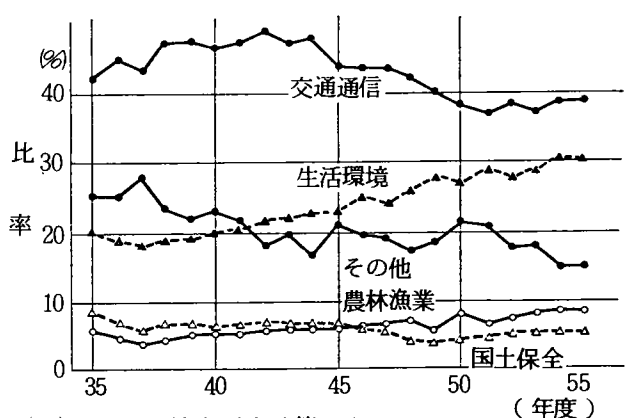
新河川法に基づいて、全国の主要河川流域において、工事实施基本計画が策定され、その目標に向かって鋭意努力がなされているが、この工事实施基本計画も完全治水に向けての段階的な目標であることは言うに及ばない。

本来、治水事業は超長期をかけて実施されるものであるから、目標とする治水安全度も時代時代の社会経済情勢に見合った計画が立てられなければならない。

社会資本はその完成までの懐妊期間が長く、また、完成後には長期間にわたって、その効用を発揮するものである。そのため、社会資本の整備は予想される経済社会の変化を長期的に見通して、計画的に推進していくことが要請される。治水施設の整備についても当然言えることであり、そのような観点から、現在の工事实施基本計画は策定され、その完成に向けて治水事業は精力的に進められてきた。しかしながら、現在の治水安全度はわが国の社会経済が要請する水準とは大きく掛け離れているのが実情である。

また、治水行政を取り巻く経済情勢は、図3.1.1¹⁾に示すように年々厳しくなっており、計画目標を達成するために必要となる予算も、図3.1.2に示すように、これまでに投資されてきた事業費の総額以上を必要とする河川流域が過半を占めている。

このような状況下にあるにも係わらず、洪水氾濫区域へ



- (注)：(1) 経済企画庁試算による。
(2) 生活環境………下水道、廃棄物、水道、都市公園、自然公園、文教、公共賃貸住宅、厚生福祉
交通通信………道路、港湾、航空、鉄道、電気通信
国土保全………治山、治水、海岸
農林漁業………農業、林業、漁業

図3.1.1 部門別公共投資配分比率の推移

の人口・資産の集積は現在も進行しており、そのため、洪水による被害の程度を現状に維持するだけでも非常に莫大な事業費が必要となる。

以上のように考えると、工事実施基本計画の目標をいつ達成出来るかを予測すること

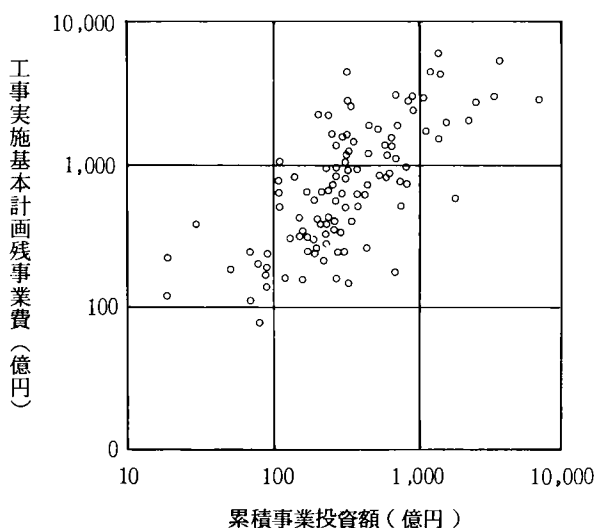


図3.1.2 治水事業投資実績(累計)と工事実施基本計画の残事業費の関係

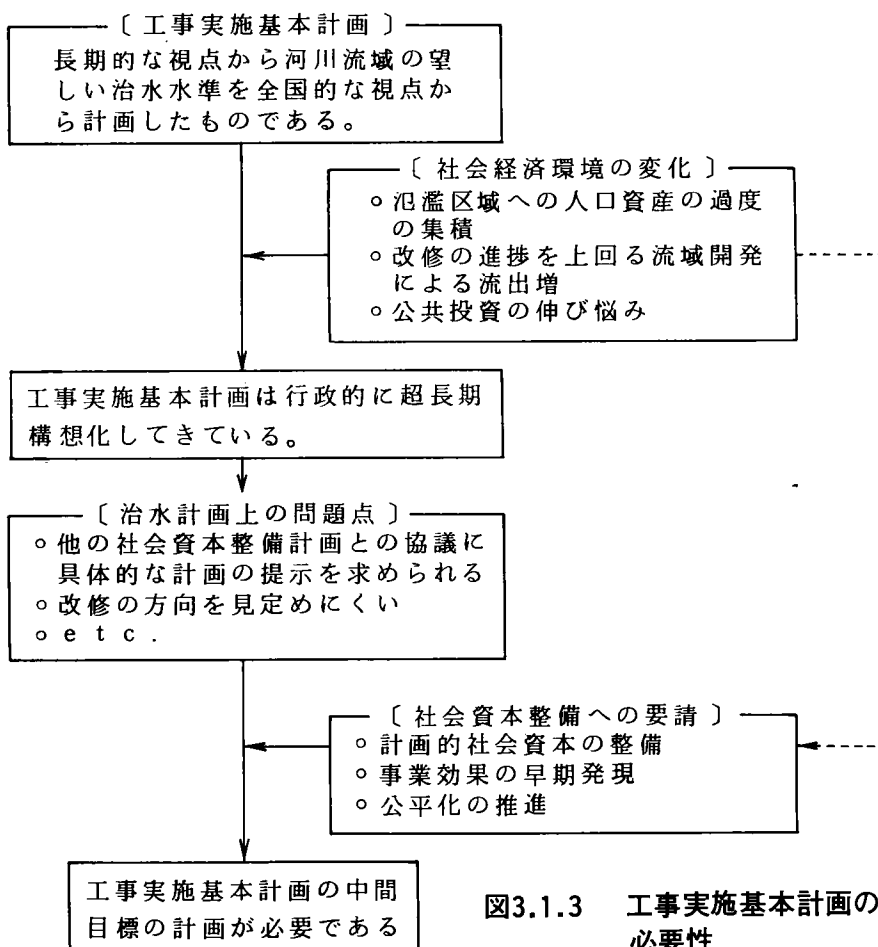


図3.1.3 工事実施基本計画の中間目標の必要性

は甚だ困難な状況にある。すなわち、工事实施基本計画は行政上「超長期構想」化しているのが実情と言える。計画的行政が要請される今日、各種の社会資本整備計画と有機的な連携を維持し、経済的効率を追求するといった姿勢が強く要請され、いつ完成するか予測の不確かな目標のみでは治水行政として十分な対応が出来ないであろう。

ここに、図 3.1.3 に示すように工事实施基本計画の完成に向けての中間目標を計画することが必要となるが、この中間目標の持つ社会的、経済的意義について定量的な検討を踏まえた計画手法はいまのところ確立されていない。そこで、本章は工事实施基本計画の完成に向けての中間目標の持つ意義とその計画理念を明らかにするとともにその定量的な計画手法に関する基礎的検討を行う。

第 2 節 工事实施基本計画とその中間目標

治水事業は莫大な投資を長期にかけて実施していくものであるから、河川毎に一定の整備計画を策定して、その目標に向かって段階的に整備を進めて行くことが合理的である。この治水施設の整備計画の基本となるのが、工事实施基本計画であり、その目標（基本高水流量）は図 3.2.1 に示すフローに基づき計画されている。

2-1. 工事实施基本計画の目標とその段階的向上

新河川法において、工事实施基本計画が規定されたのは、

①短期間に実現可能な低い目標水準の下では、事業完成後においても、洪水の氾濫が起る頻度は大きく、引続き、さらに安全度を引き上げるべく治水施設整備の必要性が起る。その場合、堤防や護岸の作り直し、用地の追加買収、橋梁、堰をはじめとする河川工作物の改築などの手戻りを生じ、長期的に見れば却って不経済な事業執行となる。

②河川改修はある区間だけについて工事をしても、その効果は発現するものでなく、河川全体として、上下流や左右岸で整合性のとれた治水機能の向上を図らざるを得ないものである。

と云う、いわゆる「規模の経済性」²⁾に基づいている。

しかし、このような観点から治水計画の目標を大きく定めると、一方で治水投資に限度があるため、効果の発現に長年月が必要とされると云う問題を抱えている。

因に、工事実施基本計画に掲げられている目標を達成に必要な投資額（昭和57年度以降）は約170兆円（ダム、砂防、地すべり対策に必要な投資額を除く）と言われている³⁾。

この投資規模は昭和56年度の河川事業投資実績の7,300億円のほぼ200倍に相当するものである。このことから考えても、工事実施基本計画は行政上、超長期構想として位置づけざるを得ないと言えよう。

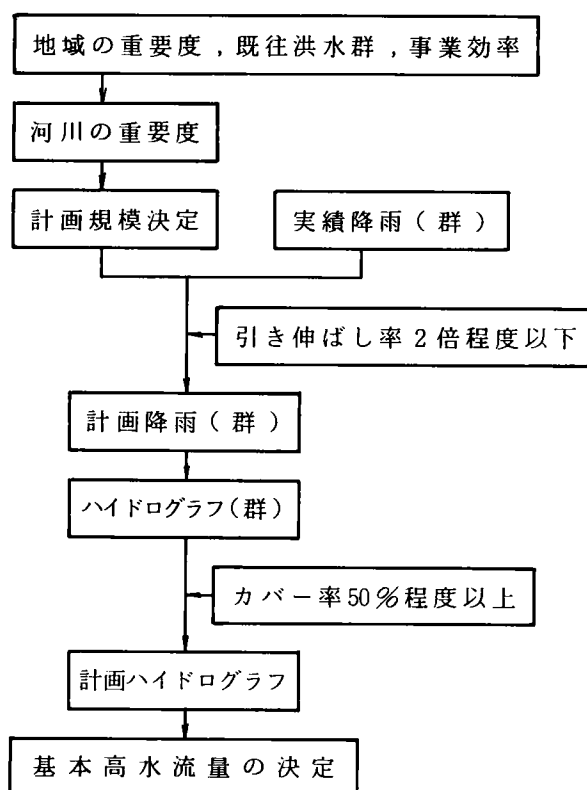


図3.2.1 基本高水流量の決定

(1) 中間目標の必要性

昭和51年の長良川災害の水害訴訟において、井上章平はその陳述書⁴⁾の中で『工事実施基本計画に画かれた河川の姿は、将来の目標として画かれたものがあります。ところで工事実施基本計画は高い目標を定めておりますので、ここに画かれた姿はその河川の現実とはかなり大きな差があるのが普通です。..... この差を埋めるために河川改修を実施するに当たって、例えば、忠実に工事実施基本計画に定められた断面を完成させながら下流から上流へと工事を進めるといたしますと、この工事期間中、常に改修済みの部分と未改修部分が画然と二分して存在することになります。洪水は何時くるか分からない以上、未改修部分は常に水害の危険にさらされることになり、.....したがって、河

川改修にあたっては工事実施基本計画に定められた目標より下に中間的な目標を設けて、逐次均衡を図りながら改修を進めるものであります。』と述べ、工事実施基本計画の完成に向けて中間目標を計画することの必要性を指摘している。

また、全国主要一級河川の管理に携わっている建設省の工事事務所長へのアンケート調査によると図 3.2.2 に示すように、3/4以上の河川流域においてその必要性が指摘されている。その理由については図 3.2.3 に示すように、「厳しい財政的制約の

もとで、長期化した工事実施基本計画の目標のみでは、改修の方向を見定めにくい」と云うのが最も多く、ついで「目標を達成するのに長期を必要とし、その間に様々な不確実性を伴う事柄に対する意思決定が必要となるが、その点が非常に困難である」、「治水事業は洪水という自然現象を対象としており未知の要素も多くそのため最終目標を設定し、河川工学的な視点から、安全性を確認しながら進めざるを得ない」といった面が指摘されている。

井上の陳述書は、『..... そこで、現在は大河川では戦後最大洪水、中小河川では時間雨量50mm対応の洪水に対処できるように中間的な目標（以下「政策的中間目標」と記述する）を定めて事業を推進しているところであります。..... ところで、戦後最大洪水あるいは時間雨量50mm対応の洪水を中間目標に設定した意味は極めて政策的なものであります。戦後最大洪水について云えば、戦後30余年の間に我が国土は幾度か大きな災害を経験しましたが、その被害は大きく、このような洪水の再来に際して、同じような災害を引き起こすこ

工事実施基本計画を完成するまでに中間目標を設定することの必要性をどの程度考えられますか

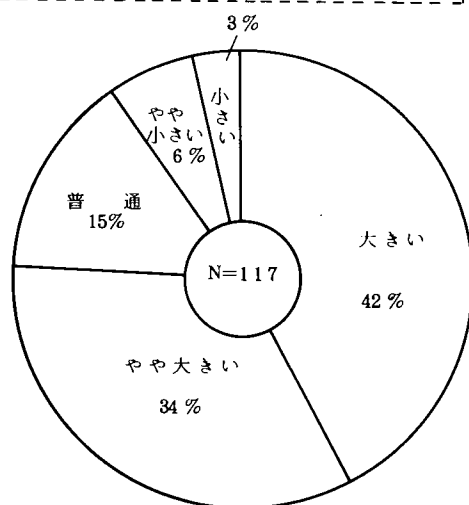


図3.2.2 中間目標の必要性

何故、段階的治水安全度目標の計画が必要と思われますか？ 以下の項目の持つ理由としての大きさを5段階評価でお答え下さい。

- ① 河川氾濫区域の都市化や流域の変貌に対して現状の治水安全度が低く、工事実施基本計画のみでは改修の方向を見定めにくい
- ② 治水に対する住民意識の向上や水害訴訟の多発等に対し、具体的な目標である工事実施基本計画のみでは理解を得にくい
- ③ 厳しい財政制約の中で、工事実施基本計画の長期的目標のみでは、改修の方向を見定めにくい
- ④ 工事実施基本計画の目標を達成するのに長年月を必要とし、その間に種々の不確実性を伴う事柄に対する意思決定が重要となるが、そのことが非常に困難である
- ⑤ 工事実施基本計画では目標に至るプロセスが明示されていないため、住民や自治体の目先の声に左右される危険性がある
- ⑥ 他の事業計画との調整に「いつ」、「どこに」、「どの程度の整備」をすると云った具体的な計画の提示が必要となる
- ⑦ 治水事業は洪水と云う自然現象を対象としており、未知の要素も多く、そのため、最終目標に至る中間的な目標を設定し、河川工学的視点から安全を確認しながら進めざるを得ない

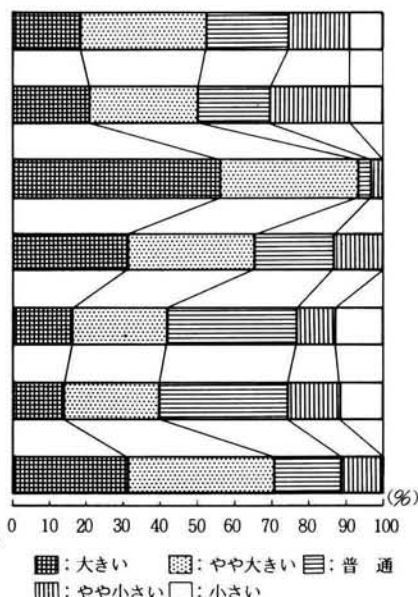


図3.2.3 段階的目標が必要とされる理由

とは避けなければならないという政策的判断に基づいております。また50mm対応については..... ごく日常的な災害の防止を第一段階の目標として選んだものであります。』と続いており、工事実施基本計画完成に向けて、現在の政策的中間目標を位置づけている。この政策的な中間目標の達成に必要となる河川事業費は約50兆円⁵⁾(ダム、砂防、地すべり対策に必要な投資額を除く)で昭和56年の河川事業投資実績の約70倍に相当し、その実現には今後数十年という相当の長年月を要する。

(注) NM計画とは戦後最大洪水対応を整備目標とする大河川の改修計画である。

現在、各水系にNM計画が策定されていますが、NM計画の目標で、上記の問題を解決出来ない理由は何ですか。

NM計画はほぼ完成しているが、その後において、工事実施基本計画に至る間の段階的治水安全度の設定が必要である。

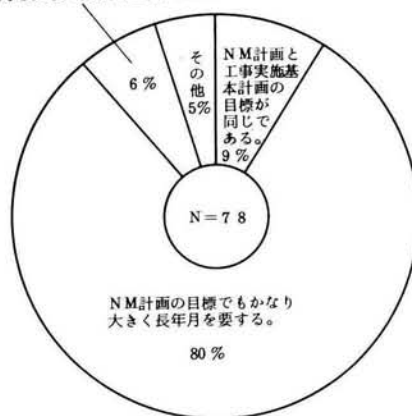


図3.2.4 政策的中間目標に対する河川管理者の意識

また、この政策的中間目標は、五箇年計画の推進のために、ナショナル・ミニマム的な観点から投資計画の目標として、政策的に計画されたもので、その社会的意義は大きく優れたものであるが、本論の意図する中間目標の計画概念とは異なる。図3.2.4に示す工事事務所長へのアンケート調査結果からも伺えるように、政策的に計画された中間目標とは別な観点に基づく中間目標の必要性が指摘されている。

(3) 中間目標の計画概念

工事実施基本計画は、水害発生状況ならびに水資源の利用の現況および開発を考慮し、水系毎にその水系に係わる河川の総合的管理が確保できるよう河川法の下で策定された計画であり、水系間の計画目標のバランスも確保されていると言える。

この工事実施基本計画の目標を段階的に向上させていく場合、すなわち、中間目標の計画にはつぎの2つの側面がある。その1つは、工事実施基本計画と同様に、河川流域の社会・経済的ポテンシャルの大きさや国土総合開発計画上の流域の位置づけを考慮して各水系の全国的視野からの位置づけを明確にし、各水系の相対的な中間目標を計画するというものであり、長期的な視点に基づく河川間の予算配分問題として捉えることができる。

他方は、1つの水系内での中間目標の計画である。この場合、前者と違って意味をもつのは、他の水系とは独立して事業投資規模などの制約条件の下で、社会的・経済的に最適となるよう、その水系の治水安全度を計画することである。

前者については、図3.2.1に示した工事実施基本計画の策定手順とほぼ同様の計画手法が考えられる。ただ、工事実施基本計画が非常に長期的な視野から計画されているのに対し、その中間目標は社会・経済的情勢の見通しのきく、中期的な視野から計画されるという点が異なる。後者についても、水系内の各地域のもつ社会・経済的重要度に支配されると云う面では同様の検討を行うことになるが、さらに加えてその水系の地域的な治水施設の整備状況や住民の意識等を捉えて、すなわち、流域の固有さを踏まえて計画されなければならない。

本論は後者の観点に立脚し1つの水系を対象とし、水系内各地域間で社会的・経済的にバランスのとれた中間目標とは何かを検討し、その計画手法の開発を目指すものである。

2-2. 中間目標の意義

(1) 社会的意義

① 公平性の確保

井上の陳述書にも指摘されているように、工事实施基本計画の目標を達成する間において中間目標を設定せずに、計画断面を忠実に下流から上流へと改修を進めていくと、その間において水系は、改修部分と未改修部分という二分的な状況になる。その結果、未改修部分においては常に洪水災害の危険にさらされることになる。そのため、改修事業は逐次均衡を図りながら改修を進めて行く必要がある。ここに中間目標のもつ社会的意義がある。

② 計画行政への貢献

経済社会活動の高度化や都市化等に伴い各種の社会資本相互の関連が強まり、あるいは施設の大規模化により、その影響が広域化してきている。このため、

イ) 施設相互の整合的整備

ロ) 施設整備と土地利用の整合性の確保

ハ) 国土基盤整備を円滑に推進していくための合意形成

等を図ることによって、総合的整備を進める必要性が高まってきている⁶⁾。こうした観点から、工事实施基本計画に向けての中間目標の計画は社会的意義が大きいと言えよう。

(2) 経済的意義

治水事業は莫大な投資と非常に長い年月をかけて進められるものである。一方、治水事業は或る改修区間だけについて工事をしても、その効果は発現するものでなく、河川全体として、上下流や左右岸で整合のとれた治水機能の向上を図らざるを得ない。すなわち、部分的に計画断面を完成させてもその効果は上がるものではない。社会資本整備は限られた予算の中で早期に

効果を発現することを要請されており、今日の財政的制約の厳しい条件の下でその要請は一層強くなってきている。

一方、新河川法において工事实施基本計画が規定された理由として、規模の経済性への配慮が指摘されている。治水効果の早期発現と規模の経済性という背反する2つの懸案課題を如何に調整するかという点において中間目標を計画することの経済的意義がある。

因に、中間目標を計画する場合、計画目標年次として、どの程度の将来を考えるかについての工事事務所長の見解は図3.2.5に示すように概ね10～30年先と

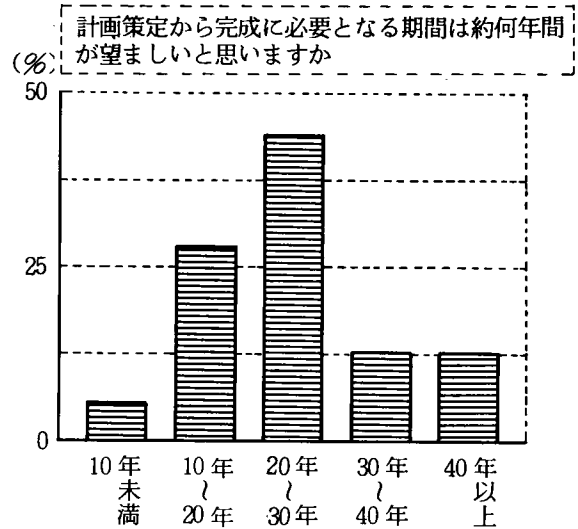


図3.2.5 中間目標の計画年次

考えられている。この計画目標年次は一般に社会資本整備計画で言われる長期計画の目標年次とほぼ対応しているものと言えよう。

(3) 技術的意義

工事事務所長へのアンケートの結果にも指摘されているように、治水事業は洪水という自然現象を制御の対象としているため、その作用等については複雑難解で未解明な部分が多い。そのため、治水事業は実際の洪水を経験してその安全性を確かめながら逐次整備を進めて行く必要がある。そのように考えると中間目標を計画すること自体に技術的な意義がある。

第3節 中間目標の評価

前節において中間目標の必要性和意義について考察を行ってきた。本節ではその評価についての検討を行う。

3-1. 治水計画規模の評価指標

1章でも述べてきたように、治水計画の計画規模は既往最大洪水流量を用いていたものから、洪水の年超過確率を用いたものへと変化してきた。

現在では、河川流域の重要度に応じて表3.3.1に示すような計画規模が採用されている。⁷⁾

一般に、治水安全度は、

○頻度による方法

○被害による方法

により表現されていると言えよう。⁸⁾

① 頻度による方法

図3.3.1に示すように、外力の確率密度関数 $Pr(F)$ 、外力 F の超過確率を $P(F)$ とすれば、次式が成立する。

$$P(F) = \int_F^{\infty} Pr(F) dF$$

ここで、外力 F が年間の最大値につ

いて与えられていれば、その再現期間 T と $P(F)$ の関係には、

$$1/T = P(F)$$

が成立する。

治水施設の容量に対応する外力を F_0 、その再現期間を T_0 とすれば、頻度による方法で評価した治水安全度は $1/T_0$ と呼ばれる。

ここに、 T_0 は外力 F_0 の平均再現期間のことである。したがって、 T_0 年間にそれ以上の外力が生起する場合も有るし、生起しない場合もある。そこで、ある年数 n の間に F_0 以上の外力が生起する可能性を求めてみる。

外力が治水施設の容量 F_0 を越えた場合に災害が発生する。ある年に災害が発生したので、新たに治水施設を建設したとする。その n 年後に外力が F_0 よ

表3.3.1 河川の重要度と計画の規模

河川の重要度		計画の規模*
A	級	200 以上
B	級	100 ~ 200
C	級	50 ~ 100
D	級	10 ~ 50
E	級	10 以下

* 計画降雨の降雨量の年超過確率の逆数

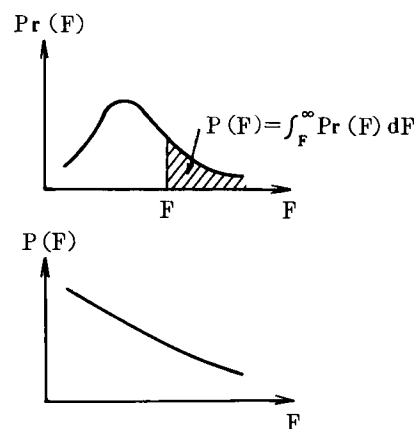


図3.3.1 $Pr(F)$ 、 $P(F)$ の概念図

り大きくなり、再び災害が発生したとすると、 n 年が災害の生起間隔である。
そこで、 n 年目にそのような外力が生起する可能性は

$$[1 - P(F_0)]^{n-1} \cdot P(F_0)$$

となり、したがって、生起間隔の平均値 T_0 は、次式で表せる。

$$T_0 = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot [1 - P(F_0)]^{n-1} \cdot P(F_0) = \frac{1}{P(F_0)}$$

② 被害の程度による方法

この方法は、治水施設の容量 F_0 を超過する外力によって生じる被害により治水安全度を評価する。したがって、ここでは外力 F の特性と被害を受ける対象との相対関係から治水安全度が求められる。図3.3.2は F の確率密度関数、被害関数 $D(F)$ および各外力 F に対応する被害額の年平均期待値 $\bar{D}(F_0)$ (以降「年平均被害額」と呼ぶ) への寄与の程度 $\bar{D}(F)$ は次式で与えられる。

$$\bar{D}(F_0) = \int_{F_0}^{\infty} P_r(F) \cdot D(F) \cdot dF$$

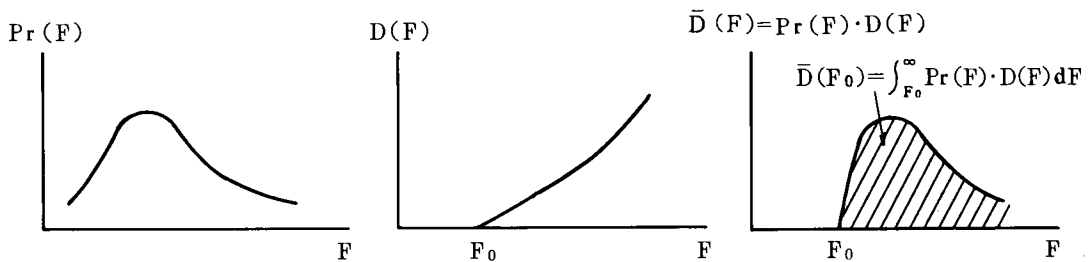


図3.3.2 年平均被害額 $\bar{D}(F_0)$ の算定手順

3-2. 中間目標の評価とその定式化

限られた事業投資額の下で、社会的にも経済的にもバランスした中間目標を計画する場合の理念は、「効率の最大化」と「公平化」と云う2つに区分することができる。⁹⁾ すなわち、「効率の最大化」とは、限られた事業投資額の下で

如何に被害を軽減するか、所謂、費用便益の最大化に相当する。また、「公平化」は、流域内の各地域における被害の均衡化を図ることと言える。

さて、これら2つの理念間には、往々にしてトレード・オフの関係が存在する。また、治水事業と言う視点から考えた場合、地域間の被害のアンバランスを皆無にすることは、絶対に災害が起こらないと云う、完全治水の時代になって始めて顕在化するものであり、現実的には不可能と言える。

このように考えると、中間目標の計画概念は、経済的効率と社会的公平性を如何にバランスさせるか、とすることができる。ところで、経済的効率に偏重した計画を立てた場合、或る特定の地域における被害が非常に大きくなる可能性が想定される。このような事態を回避するためには、そのような被害が重点的に及ぶ地域の被害の程度に最低限の保障をすると云うシビル・ミニマム（ナショナル・ミニマム）の概念を制約条件として設定することにより可能となる。このことも、「公平化」の一つの尺度として考えられる。政策的中間目標はナショナル・ミニマムと云う視点から目標を掲げているが、これは経済的重要度の低い流域における極度の治水安全度の低下を防ぐべく講じられた治水事業の政策理念である。

さて、河川管理者のこの2つの理念に対する見解は、工事事務所長へのアンケート調査によると、図3.3.3に示すようにほぼ同比率の関係となっており、いずれか一方の理念のみにより計画することの問題点を指摘している。そのため、中間目標は、この2つの理念を統合する形で評価されるべきであろう。また、この両理念をどのような指標でもって説明するかは流域の治水施設の整備水準や社会経済的特性によ

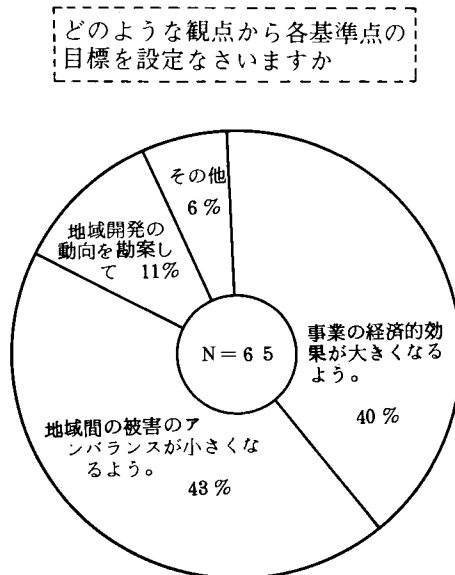


図3.3.3 経済的効果と社会的効果に対する重み

っても変わるであろうが、3-1.で示した被害の頻度と被害額がその基本的な指標となるであろう。

(1) 経済的評価とその定式化

中間目標P（本論では、治水計画規模の超過確率で示す）のもつ経済的効果 $F_a(P)$ は一般に従来から治水経済調査で実施されている費用便益の概念を導入することができる。すなわち、図3.3.4に示すように基本的に4つの基本軸で形成される計画空間と云える。

治水計画規模を設定すれば、その目標達成に必要な事業費が算定される。この場合、規模を大きく設定すると、規模の経済性により必要となる事業費は相対的に小さくなる。工事実施基本計画の目標が大きく設定されている背景の一つとして、この規模の経済性を指摘することができる。以下に図3.3.5に示すようなN個の基準点によって構成される流域において、

目標Pが、
$$P = (P_1, P_2, \dots, P_N)$$
 (3.1)

P_n : n基準点(流域nに対応する基準点)の安全度

と計画された場合について考える。

まず各部分流域において、目標 P_n に対する治水施設規模 X_n を決定する必要がある。たとえば、 $P_1 = P_2 = \dots = P_N = P_0$ と流域全体で同一の目標 P_0 が設定された場合には、それに対応した降雨 R_{P_0} をもとに、外水氾濫を生じさせないという前提に立って河道洪水追跡を行い、各基準地点に致達するピーク流量から治水施設規模を決定することができる。

ところが各基準点毎に目標が違う場合には、N個の降雨 R_{P_n} ($n=1,2,\dots,N$)について上記分析を繰り返し、これをもとに各流域の治水施設規模を設定することは必ずしも妥当とは言い難い。何故ならば、流域の氾濫貯留効果によって、実際に到達するピーク流量が、上記分析から求めた施設規模を下回る可能性があるためであり、流域の貯留効果が高ければ高いほどこの傾向は顕著となる。

したがってn基準点において、目標 P_n に対する施設規模 X_n を正當に設定するには、降雨 R_{P_n} に対して流域の氾濫貯留効果を考慮した洪水追跡を行い、これによって得られるピーク流量をもとに X_n を決める必要がある。すなわち、

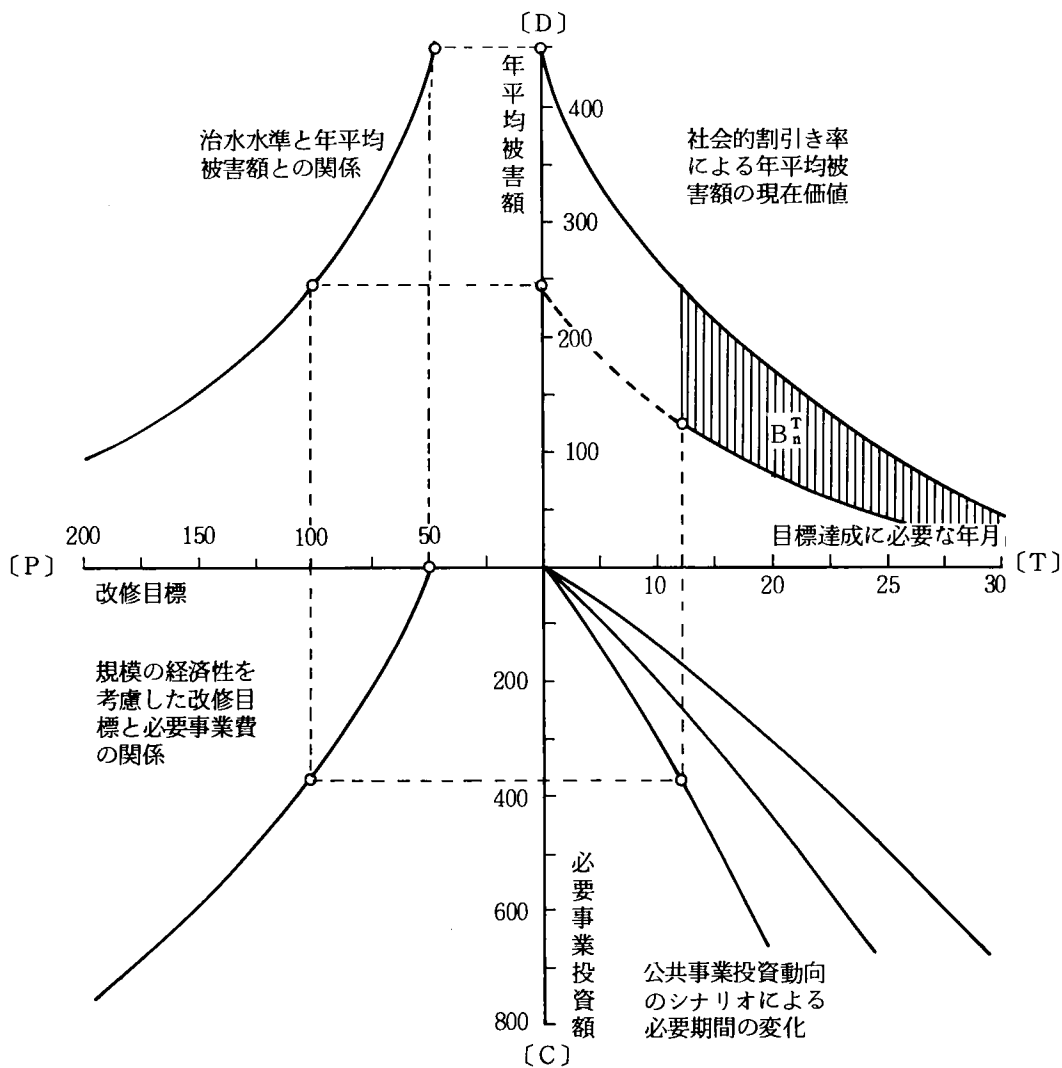


図3.3.4 経済的評価モデルの概念図(流域n)

$$X_n = X_n(X_1, X_2, \dots, X_N, R_{Pn}) \quad (3.2)$$

ここでは部分流域の貯留効果は当該流域の治水施設規模によって規定されるものと考えている。このようにして求めた流域nの治水施設規模 X_n に対

して必要となる事業費 C_n は $Mane$ の規模の経済性の定義を用いて、

$$C_n = K_n X_n^{a_n} \quad (3.3)$$

$$(K_n > 0, 0 \leq a_n \leq 1)$$

と表わせる。したがって流域全体の必要事業費 C は、

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N = \sum_{n=1}^N C_n = \sum_{n=1}^N K_n X_n^{a_n} \quad (3.4)$$

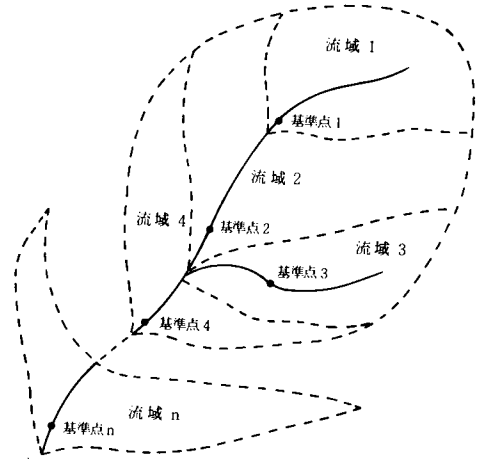


図3.3.5 モデル流域

となり、流域に毎年 $m(t)$ ($t=1,2,\dots,T$) の投資が行われるならば、目標達成までに要する工期 T は、

$$\int_0^T m(t) dt = C \quad (3.5)$$

を満足するものとして求まる。

ところで、目標達成後の流域 n の被害額 δ_n^T は、流域の施設規模 (X_1, X_2, \dots, X_N) ならびに洪水規模 Q によって決定され、

$$\delta_n^T = \delta_n^T(X_1, X_2, \dots, X_N, Q) \quad (3.6)$$

と表示できる。これを年平均被害額で評価すると、

$$d_n^T = \int_0^\infty \delta_n^T(X_1, X_2, \dots, X_N, Q) f(Q) dQ \quad (3.7)$$

と変換される。ただし $f(Q)$ は洪水規模 Q の確率密度関数である。

中間目標の経済的便益を目標達成後に生じる被害軽減額で評価するものとし、その継続期間は施設の耐用年数 T_0 年間とすると、目標達成に伴う n 流域の被害軽減による経済的便益 B_n^T は、

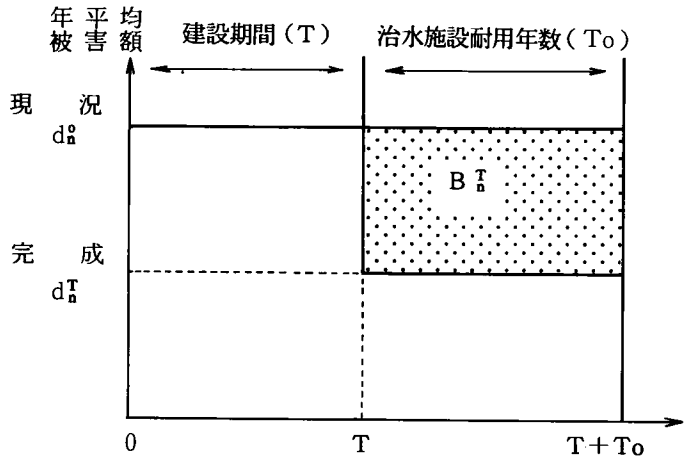


図3.3.6 年平均被害額の時間変化

$$\begin{aligned}
 B_n^T &= \int_T^{T+T_0} (d_n^0 - d_n^T) e^{-rt} dt \\
 &= \frac{d_n^0 - d_n^T}{r} [e^{rT} (1 - e^{-rT_0})] \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

として求まる。ここに d_n^0 は現況の流域年平均被害額、 r は割引率である。

また、流域総事業費 C^T は、

$$C^T = \int_0^T m(t) e^{-rt} dt \quad (3.9)$$

であり、中間目標 P のもつ経済的効率 F_a は

$$\begin{aligned}
 F_a &= \sum_{n=1}^N B_n^T / C^T \\
 &= \sum_{n=1}^N \frac{d_n^0 - d_n^T}{r} [e^{rT} (1 - e^{-rT_0})] / \int_0^T m(t) e^{-rt} dt \quad (3.10)
 \end{aligned}$$

となる。

(2) 社会的評価とその定式化

中間目標の社会的効果として、ここでは被災住民の心理的被害の減少を指標としたシステム化を検討した。

住民の洪水災害による心理的被害を経済的被害の絶対額に対する側面と地域的な被害のアンバランスによって生じるものとの2つに区分して把握することが

できる。すなわち、 n 流域において、経済的被害に対する心理的被害 a_n^1 は、一般には現況の年平均被害額 d_n^0 、目標達成後の年平均被害額 d_n^T の関数として、式 (3.11) として表現できる。

$$a_n^1 = a_n^1 (d_n^0, d_n^T) \quad (3.11)$$

また、被害の地域的アンバランスによって生じる心理的被害 a_n^2 については、現況における被害の地域分布 d_1^0, \dots, d_N^0 ならびに目標達成後の被害の地域分布 d_1^T, \dots, d_N^T の関数として、式 (3.12) として表示できる。

$$a_n^2 = a_n^2 (d_1^0, \dots, d_N^0; d_1^T, \dots, d_N^T) \quad (3.12)$$

このような地域別の心理的被害 a_n^1 、 a_n^2 の総体として、流域全体の心理的被害の軽減 Fb が形成されるものと考え、図 3.3.7 に示すようにモデル化する。

すなわち、図 3.3.7 の第 3 象限は、中間目標 P に基づく各流域の被害額と地域的な被害のアンバランスで構成される。又、第 2 象限は各流域の被害額と、それに対する住民の心理的被害 a_n^1 、第 4 象限は地域的な被害のアンバランスと住民の心理的被害 a_n^2 の関係を意味している。上記の a_n^1 と a_n^2 で構成される心理的被害の軽減を Fb_n とすれば、 Fb_n は、

$$Fb_n = Fb_n (a_n^1, a_n^2) \quad (3.13)$$

と表現でき、第 1 象限として位置づけられる。

ここで、 Fb_n を算定するには中間目標 P に対する被害額を算定し、その被害に対する住民の意識、さらには、地域的な被害のアンバランスに対する住民の意識をアンケート調査等を通じて明らかにしていく必要がある。

ところで、これら心理的被害の軽減を流域全体として社会的に評価する場合の評価関数は一般に、

$$Fb = Fb (Fb_1, Fb_2, \dots, Fb_N)$$

もしくは、

$$Fb = Fb (A_1, A_2) \quad (3.15)$$

成される評価関数Fが最大となるよう計画されねばならない。すなわち、

$$F = \alpha F_a + \beta F_b \quad (3.18)$$

を最大化するシステムと言える。

ここに、 F_a : 中間目標Pの経済的評価値

F_b : 中間目標Pの社会的評価値

α および β : F_a 、 F_b に係る重み係数で $\alpha + \beta = 1$

この最適化システムを実際場面において適用していくためには、経済的被害や地域的な被害のアンバランスに対する住民の受ける心理的被害をアンケート調査を実施し、その結果に数量化理論などの統計手法を導入し定量的に把握していく必要がある。

しかしながら、現時点においてこのような内容のアンケートを行うことは、住民の洪水災害に対する不安を一層高める危険性があり困難といえる。とはいえ、住民の理解を得た治水計画の中間目標を計画立案していくには避けることの出来ない道程である。そのため、今後とも総合的な治水対策の中で提起されているように浸水実績の公表などを広く実施することにより、住民の治水に対する関心を高めて行く努力が必要である。

第4節 中間目標の最適化システムの構成

本節において、上述してきた評価関数を最も最大化する中間目標を計画するためのシステム、すなわち、中間目標の最適化システムを構成する。

4-1. 最適化システムの制御変数

経済的評価値 F_a と社会的評価値 F_b の合成指標Fを最大化していくための制御（計画手段）は治水安全度Pである。Pを決定した場合の評価指標値Fを算定するためには、Pを具体化する治水手段が明らかでなくてはならない。

そのため、制御変数Pとそれを具体化する治水手段の系列Xを予め検討しておく必要がある。

ところで、図3.4.1に示すモデル流域を想定し各基準点の中間目標を設定する場合、基準点間の治水安全度の関係を明らかにしておく必要がある。例えば、A基準地点の目標を超過確率 $1/150$ とし、B基準地点の目標を $1/100$ と設定すれば、実際に $1/150$ 規模の洪水が発生した場合、一般にA基準地点の洪水流量はB基準地点上流における氾濫貯留効果により逓減することになる。

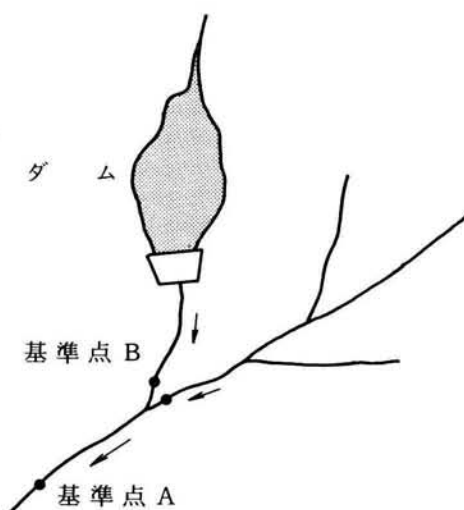


図3.4.1 モデル流域

現在の工事实施基本計画における各基準地点の計画高水流量は計画対象降雨が、氾濫することなく（遊水池などの効果は考慮されている）各基準地点に流出した場合の流出量で定義されている。そのため、下流側河道に位置する基準地点の計画高水流量は実質的には計画安全度よりも、より安全側に設定されていると云える。

しかしながら、工事实施基本計画の完成に向けての中間目標を最適に計画するためには最適化システムでの制御変数は上流域での氾濫貯留効果を考慮した実質的な安全度を対象とせねばならない。また、そのためには制御変数としてのPをどのような治水手段の系列として達成していくかについて予め検討をしておく必要がある。

4-2. 最適化システムの状態変数

河川流域の治水安全度を向上するための治水方式は図3.4.2に示すように様々であり、一般的にはこれら各種の方式が有機的に作用して始めて効果的となる。ところで、本論で提案する中間目標の最適化システムは目標の持つ経済・社会的効果を定量的に把握することを意図している。そのためには、各種の治水方式において必要となる事業費やその方式を取り入れた場合の洪水氾濫の形態を定量的に把握できることが前提となる。また、総合治水対策特定河川流域

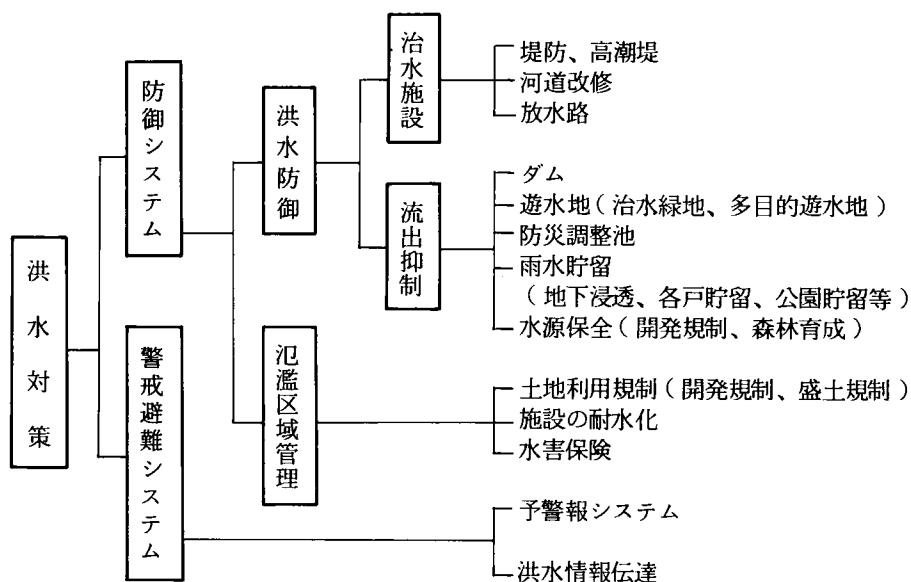


図3.4.2 総合的な治水対策システム

においては、ソフトな治水方式の具体化に鋭意努力がなされているが、その実現に要する事業費や必要となる時間については未解明と言える。

また、本論は現工事实施基本計画の完成に向けての中間目標の計画を意図して、その最適化システムを検討しているため、工事实施基本計画の計画手段として現在規定されている洪水防御と云うハードな治水方式を対象とする。

ここでいう、システムの状態変数は、上述してきたように各基準点の中間目標 P_0 を決定した場合、それを具現するための各種のハードな治水方式の系列を意味する。すなわち、河川流域における各種治水施設の整備状態である。

4-3. 最適化システムの評価変数

中間目標 P を設定した場合の評価は前節で述べてきたように、治水事業の経済的評価指標 F_a と社会的評価指標 F_b で構成される総合的評価指標値 F 、

$$F = \alpha F_a + \beta F_b$$

でもってなされる。

ここに、 $\alpha + \beta = 1$.

この場合、 α と β の重みづけ如何によって中間目標Pは図3.4.3に示すように変化する。

この α と β の重みづけについては、河川流域の社会的特性に応じて決定されるものである。そのための1つの方法としてISM法¹⁰⁾の適用が有効と考える。

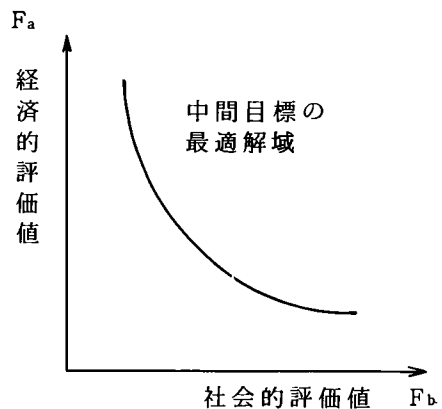


図3.4.3 中間目標の最適解域

4-4. 最適化システムの構成

以上を全体として構成すると、最適化システムは図3.4.4に示すようになる。なお、この最適化システムの具体的なアルゴリズムについては、評価における住民意識に関する研究に待つところが大きく、今後の課題とする。

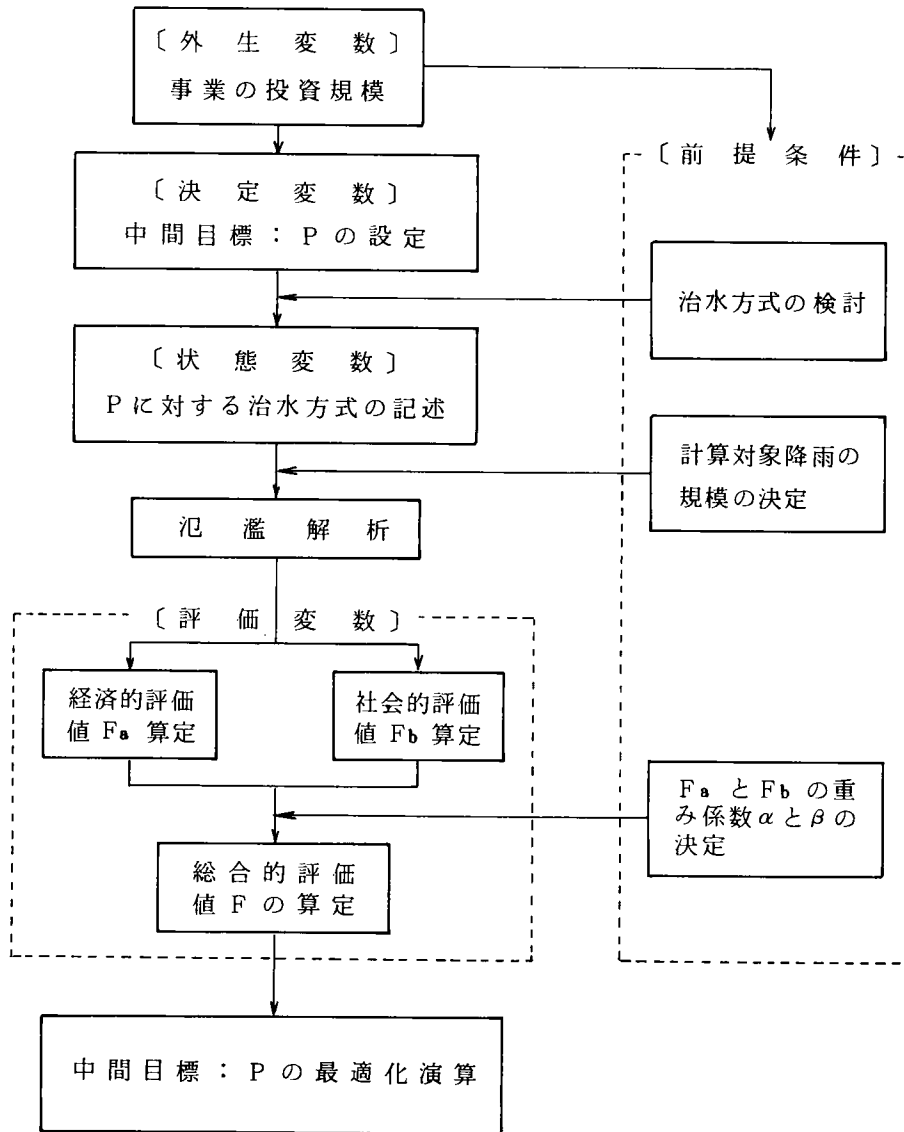


図3.4.4 中間目標の最適化システムの構成

第5節 結言

現在、各水系で策定されている工事实施基本計画の完成には、未だ超長期を必要とすることから、本章においては工事实施基本計画の計画目標を段階的に向上させて行く、すなわち、中間目標の必要性とその社会・経済的意義について筆者の見解を述べるとともに、全国主要河川の管理者である地方建設局の工事事務所長の意見を中心に分析を行ってきた。ついで、中間目標を計画する場合の評価の在り方について述べるとともに、その計画手法について検討を行ってきた。本文で得られた成果は以下のとおりである。

- ① ある水系に投資される治水事業費を与件として、水系内各基準点の中間目標を計画する際の評価を経済的側面と社会的側面と云う2つの側面から行う最適化システムを構成した。
- ② すなわち、経済的評価においては中間目標の設定により流域内各地域の年平均害額の軽減効果と規模の経済性を考慮した治水事業の必要投資額との比すなわち費用便益比で評価するものとした。その結果最適化システムの1つの特徴として、事業効果の早期発現と規模の経済性と云う相対立する目的をトレード・オフの関係として取り扱うことが可能となった。
- ③ また、社会的評価としては被災住民の受ける心理的被害に着目し、住民の受ける被害の程度により規定されるものと、地域的な被害のアンバランスにより生じるものとの2つから構成してきた。
- ④ このように、社会的評価と経済的評価という相対立する評価の概念を導入した場合、中間目標の設定は多目的の最適化システムによることをのべるとともに、その構成を行ってきた。
- ⑤ 又、最適化システムに氾濫モデルを内挿することにより氾濫貯留効果を考慮した実質的な各基準地点の中間目標を計画することが可能となる。

参考文献

- 1) 国土庁計画・調整局; 重点的、効率的な国土基盤の整備, 大蔵省印刷局, 1983
- 2) 室田 明、江藤剛治、他; 段階的治水計画について, 第25回水理講演会論文集,1982
- 3) 建設省河川局治水課; 直轄河川改修概要(抄),1982
- 4) 井上章平; 長良川水害訴訟に関する資料,1981
- 5) 4)に同じ。
- 6) 1)に同じ。
- 7) 日本河川協会編; 建設省河川砂防技術基準 (案) , 山海堂,1976
- 8) 吉野文雄、吉川勝秀; 治水計画の評価の方法論に関する2、3の考察, 建設省第34回直轄技術研究会報告,pp.766〜772, 1981
- 9) 3)と同じ。
- 10) Warfield, J.N.; Structuring Complex Systems,1974

第4章 段階的施工計画の最適化に関する研究

第1節 概説

洪水災害から地域社会を守るために治水事業が実施されているが、図4.1.1に示すように、治水事業は洪水という自然現象を対象としたものであり、例えば河川改修を取りあげると、ある区間の改修事業は複雑な水理現象のもとで上下流問題、左右岸問題等に代表されるように他の区間の治水安全度に影響を及ぼすことになる。また、治水施設への洪水流の作用について未解明な部分が多く残されていることにより、治水事業は安全を確認しながら事業を実施していくことが必要とされる。

また、治水事業には莫大な投資が必要であり、そのため、財政的な面からも治水事業は本来、段階的に行われることになる。

このように考えると

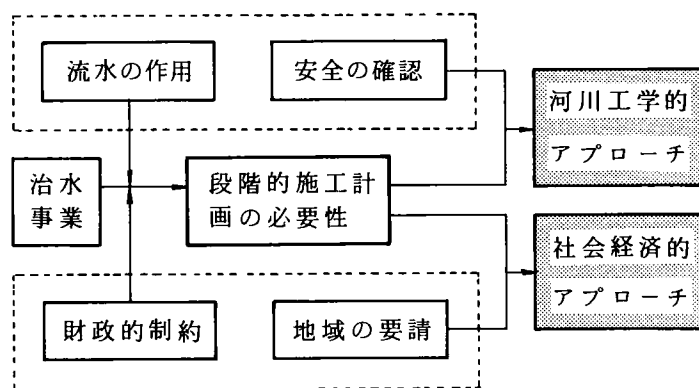


図4.1.1 段階的施工計画の位置づけ

治水計画の基本は、治

水事業を取り巻く各種制約条件の中で安全でかつ社会的・経済的評価の高い事業を如何に段階的に実施して行くかを計画することと言える。

治水事業を段階的に推進していく場合、例え同じ計画目標に向けて改修事業を進めるとしても、複数の改修区間をどのような手順で改修していくかによって、改修途上における被害の発生状況が変化し、その結果、計画期間中の社会的・経済的インパクトに違いが生じることになる。

上述した観点から、河川工学的な側面と地域の要請を如何に計画に反映していくかといった社会工学的な側面からのアプローチが必要とされる。

そこで本章においては、第3章で設定される中間目標をどのような手順で具体化していくのが望ましいか、すなわち、治水事業における段階的施工計画の最

適化について河川工学・社会経済学の両側面から検討するものである。

第2節 段階的施工計画の目的と制約

2-1. 段階的施工計画の意義

(1) 経済的意義

一般に上流域での改修は、当該地域の被害を軽減する反面、下流域河道の洪水流量を増大させるというトレード・オフの問題をはらんでいる。このような問題は左右岸、本川・支川の関係についても言えるものである。ところで、これまでの治水計画においては、段階的に施工せざるを得ないにもかかわらず、計画目標達成時における洪水計算を実施し、計画完成時の経済的効果を評価しているに過ぎず、計画完成までの計画期間中における経済的効果については殆ど評価の対象とされていなかったと言える。しかし、治水事業は、長期にわたる年月と莫大な事業費が必要となるのが一般であり、計画完成後の経済的効果もさることながら、計画期間中における被害の軽減は治水計画の大きな課題と言えよう。

一方、計画完成までに長期を必要とすることは、計画期間中における河川氾濫区域の資産の絶対量およびその地域的分布の時間的な変化を考慮することの必要性を意味している。段階的施工計画はこのような氾濫区域内の資産の時間的、空間的变化を十分に考慮しておかなければ計画期間中に受けるであろう被害に大きな変化をもたらすことになる。

このように、「いつ」、「どこに」、「どの程度」の工事を行うか、すなわち、段階的施工計画の在り方如何によって、同じ計画目標を達成するにも改修途上における被害に大きな差異を生じることになる。ここに治水計画における段階的施工計画の経済的意義がある。

(2) 社会的意義

① 被害の地域的アンバランスの是正

治水事業を実施していく過程において、例えば計画を下回る規模の洪水であっ

ても被害をうける可能性のあることは止むを得ないことである。そのため、前項で述べたように段階的施工計画の如何によって、各保全対象地域の被災確率や被害規模の大小にアンバランスを生じる。このような被害の地域的なアンバランスにより生じる地域住民の心理的不満度を如何に調整を図りながら事業を進めて行くかと云うことに、段階的施工計画は社会的に大きな意義を持つと言える。

② 地域計画との整合性

流域の都市化が進展するにつれて、氾濫区域への人口・資産の集積が進み、保全対象空間は拡大の一途を辿っている。また将来的にも、道路、鉄道などの整備あるいは宅地造成など流域の開発計画は次々と打ち出されており、これに伴って治水事業に対する要請も日増しに高まっていると言えよう。このような流域の変化に対応して、地域計画との整合が図られた段階的施工は社会的にも強く要請される場所である。

(3) 技術的意義

治水計画を策定する場合には、過去に得られた洪水実績資料より流域の洪水特性を把握し、これをベースとして特定の計画対象洪水を設定し、それに対処するための具体的な治水施設の内容を記述することになる。したがって計画策定時点の洪水に関する知識は過去の洪水観測値と、それを用いての将来の洪水についての統計的予測法であり、今後、実際に生起する洪水については未知の部分が多いと言えよう。また、現在河川工学の分野においては、洪水現象のより詳細な解明、個々の治水施設の強度など幅広く研究が進められているが、なお多くの研究課題が残されている。破堤のメカニズムなどはその1例として挙げることができる。

このような現実を踏まえて、治水事業を進めていく場合には、常に対象流域の洪水に関する新たな知識を蓄積し、さらにこれを実際場面に反映させていくことが河川技術者に求められる基本的姿勢とも言えよう。このような意味からすれば、自然現象を対象とする治水計画においては、安全を確認しつつ事業を実施していくと云う態度、すなわち、段階的施工そのものに技術的意義がある

ものとする。

(4) 環境保全上の意義

治水事業に限らず、一般の土木事業は、その事業の実施に伴って環境の変化をもたらす。一方、環境変化の受け手でもある住民は、事業実施前までは、その環境を前提として生活活動を営んでおり、生活場面の中で環境との間に一種の均衡状態が保たれていたとも言える。

ところが治水事業の実施によって従来の河川環境に変化が生じた場合には、それは生活環境の変化ともなり、河川と生活との結び付きが強いほど、また事業規模が大きければ大きいほど住民に与えるインパクトは大きくなると考えられる。いわゆる環境問題であり、一般的には治水事業が流域の防災のための事業として位置づけられていても、急激な生活環境の変化に対しては、極めて多様な住民反応が見られる場合が多い。したがって、治水事業を実施していく場合には、住民意識との調和をどのように図っていくかが大きな課題となり、河川環境の漸次変化を前提とした段階的施工計画は、環境保全上からも意義が認められるものと考えられる。

以上、段階的施工計画のもつ意義について述べたが、従来の段階的施工に対する取組みについて見ると、河川技術者の豊富な知識と経験のもとで対応してきたと言える。しかしながら、流域の都市化が進むにつれ、保全対象の量・質的拡大、住民意識の多様化、一方では改修の進捗にともなう河相の変化などが複雑に関連し合い、最早、河川技術者の豊富な経験のみで対応することは非常に困難となってきた。さらに、今日のように水害訴訟が多発している事態を鑑みると、治水事業を段階的に進めて行かざるを得ないという治水行政の宿命に関する理解を得るとともに、段階的施工計画の理論的背景を科学的方法で住民や関係各機関に提示できるよう努力していくことが今日の治水行政の大きな課題とも言える。そのためには、これまでの知識・経験に加えて、流域にとって望ましい段階的施工とは何か、という理念をISM¹⁾法等の手法を適用することにより明確にし、その理念のもとで評価の高い最適な段階的施工を客観的データの裏付けのもとで計画立案するシステムの開発が必要となる。

2-2. 段階的施工計画の目的

治水計画の主目的は洪水災害の防止と被害の軽減と言える。段階的施工計画は、この目的の達成水準として予め評価を受けた計画目標が前提となり、はじめて位置づけがなされる。視点を変えれば、段階的施工計画は治水計画の方法である。そのため、段階的施工計画の目的は、前提となる計画目標を与件とし、治水事業の副次的効果を高めることと言える。すなわち、計画目標を達成するプロセスが派生する経済的・社会的インパクトを最大もしくは最小にすることと言える。段階的施工計画を具体化していく過程で派生する経済的・社会的インパクトは多種多様で、それらのうちどれを対象とするかは、その時々の方域の社会・経済状況によって変化し、また、治水事業の進捗度によっても変化するものとする。そのため、どのような指標をもって段階的施工計画の目的とするかについての確立された考え方は今のところ明らかではないが、一般的に以下のような点を掲げることが出来よう。

- ① 総被害額の最小化
- ② 便益／費用（もしくは便益－費用）の最大化
- ③ 被災人口の最小化
- ④ 被害の地域的アンバランスの是正
- ⑤ 地域的整備進捗度の均衡化
- ⑥ その他

上記の各目的のうち、前3者は与件としての計画目標を如何に効率的に達成するかということを意味しており、以後「効率の最大化」目的と呼ぶ。また、後者の2つは如何に地域的に公平に達成するかということを意味しており、以後「公平化」目的と呼ぶことにする。

ところで、段階的施工計画の目的とする指標は上記の他にも様々言われているが、その根底には「効率の最大化」、「公平化」という2つの理念があるものとする。

段階的施工計画を具体化していく過程において、この2つの理念間には往々にしてトレード・オフの関係が存在する。そのため、実際の段階的施工計画に

においては、どちらか一方の理念のみにとらわれず、両者を同時に考慮した計画が策定される場合が多い。すなわち、多目的的に計画されている場合が多く、どちらの理念に重点を置くかは、前述したように、その時の社会・経済状況、さらには治水施設の整備水準によって決まるものと考えられる。

その場合、計画に社会的合意を得るためには、当該治水事業に係わりのある住民や関係各機関の意向をISM法などを適用することにより解析、整理するという取組が必要となる。とはいえ、その場合には治水事業ならびにそれを施行する治水行政に対する住民や関係各機関の理解と認識が前提となる。

2－3．段階的施工計画に係わる制約

(1) 経済的制約

各期別事業投資額は段階的施工計画上の大きな制約条件となる。しかしながら、過去の歴史からも明らかなように、事業投資額は国の財政事情や社会的情勢に大きく支配されるものであり、長期的な投資額の予測を行うことは困難でかつ事実上不可能といえる。そのため、制約条件としての取扱においても、国の財政を長期的視野から展望し、これまでの投資実績を勘案しつつケース・スタディーする場合が多い。

(2) 社会的制約

他の社会資本整備計画に比べ、治水計画を困難にしている要素の1つとして上下流問題や左右岸問題がある。道路建設計画を例にとると、道路を建設すればそれだけ交通の利便性は向上するが、治水計画においては上流の改修により下流域河道の安全性は低下することになる。また、道路は人工の工作物であり、そのルートから計画することが可能であるが、河川は自然が営々と築きあげたものであり、今日のように超過密的に資産の集積した河川氾濫区域において、河川の流路を大幅に変更することは現実的に不可能と言える。

従来の治水事業は、このような観点から下流あるいは対岸への悪影響を極力及ぼさないことを理念として進められてきており、この基本理念は今後とも大きく変化しないものと考えられる。

しかしながら、上流の改修による下流河道への悪影響を皆無にすることは事実上不可能であり、上下流問題による悪影響と、その一方で生じる便益との調整を如何に図るかが段階的施工計画の大きな課題と云うことができる。このように考えると、上下流問題を制約条件として取り扱うのは、経済効率を高めるがために生じるであろう各種の悪影響をある許容限度内に抑えるためと言える。

(3) 技術的制約

これは、技術的な立場から、複数工事間に着工順序を設ける場合などを意味している。例えば、上流側の河道掘削を下流側掘削よりも先行させる場合には、それに伴って河床勾配の大幅なすり付けが必要となり、工事内容そのものに多少困難性を伴う場合が見られる。このため、これまでの治水経験からすれば、上流側掘削を遅らせる方が、技術的にも対処し易いと言える。

(4) 時間的制約

或る改修区間において、上位計画などにより、その完成に時限が定められているような状態を意味している。

(5) 自然的制約

貴重な生物や文化財等を守る立場から、これらに損傷を加えるような工事の内容変更を求めるものであり、代替性を持ち得ないものを保全していくという社会的要請から現れたものである。

第3節 段階的施工計画の最適化システムの設計

治水事業の段階的施工計画とは、前述してきたように、前提となる計画目標に向けて、それを具体化していくプロセスを計画することである。その理念は限られた事業投資額や他の制約条件の下で、経済的社会的に最も望ましい状態を維持しつつ計画目標を完成するという命題に答えることと云える。この場合、計画の内容は複数の工事に対して「いつ」「どこに」「どの程度」の事業費を投入するか、と云った事業費の時間的・空間的配分と云うことができる。また、社会的・経済的に望ましい状態とは、計画期間中における地域全体の被害を最小化すること、さらには、地域的な被害のアンバランスを最小化することとし

て捉えることができ、これらが段階的施工計画の目的と云える。このような視点から本論では段階的施工計画を「多段階決定問題」として位置づけ、その最適化システムを設計する。

3-1. 制御問題として捉えた段階的施工計画²⁾³⁾⁴⁾

治水事業がダム建設、河道改修などのK個の事業ブロックに分割され、N箇所の氾濫ブロックで構成される図4.3.1に示す地域を想定し、この地域における段階的施工計画が制御プロセスの問題としてとらえることが可能であることを以下に述べる。なお、制御問題における各変数を以下のように定義する。

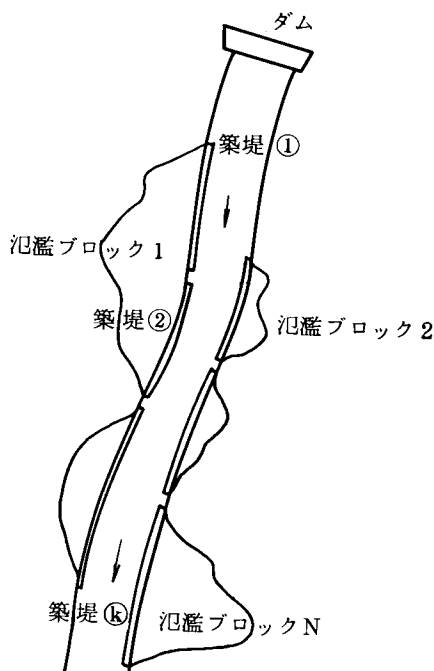


図4.3.1 氾濫ブロックと事業ブロック

- ① 決定変数を各事業ブロックの累積投資配分額 M_k ($k = 1, 2, \dots, K$)
- ② 状態変数を各事業ブロックの洪水処理能力 S_k
(ダムの場合は容量、河道の場合は疎通能力)
- ③ 外生変数を地域に投入される総投資額 R ならびに洪水規模 Q
- ④ 評価(目的)変数を地域内各氾濫ブロックの被害額 δ_n ($n = 1, 2, \dots, N$) とする。まず決定変数である各事業ブロックの累積投資配分額 $M_k(t)$ に関する方程式は t 期の投資配分額 $m_k(t)$ との関係において成り立ち、

$$\frac{dM_k(t)}{dt} = m_k(t) \quad (4.1)$$

と表せる。

ここに、 $m_k(t)$ は時間 t における第 k 事業ブロックへの投資配分額であり

$$\int_0^t m_k(\tau) d\tau = M_k(t) \quad (4.2)$$

の両辺を時間微分することによって (4.1) が導かれる。さらに投資配分額 M_k と状態変数である洪水処理能力 S_k とは一義的対応が可能であり、これを、

$$S_k(t) = G_k [M_k(t)] \quad (4.3)$$

と表すと、上述の (4.1) 式は

$$\frac{dS_k(t)}{dt} = \frac{dG_k}{dM_k} \cdot \frac{dM_k(t)}{dt} = \frac{dG_k}{dM_k} \cdot m_k(t) \quad (4.4)$$

と記述できる。また各事業ブロックへの t 期の投資配分額 $m_k(t)$ の合計は地域全体の投資額 $R(t)$ と合致する必要がある、これは次式として表せる。

$$\sum_{k=1}^K m_k(t) = R(t) \quad (4.5)$$

以上の制約のもとで、境界条件として現況 $t = 0$ における各事業ブロックの初期値を、

$$\text{現 況: } S_k(0) = G_k [M_k(0)] = G_k(0) \quad (4.6)$$

とし、最終期 $t = T$ において、

$$\text{計 画: } S_k(T) = G_k [M_k(T)] \quad (4.7)$$

とする。このような諸条件のもとで、氾濫ブロックの被害額 δ_n によって定義される評価関数 J を、

$$\begin{aligned} J &= \int_0^T D_t(S_1, S_2, \dots, S_k, Q) dt \\ &= \int_0^T D_t(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) dt \end{aligned} \quad (4.8)$$

と定義し、これを最小化する、

$$M = (M_1(t), M_2(t), \dots, M_k(t)) \quad (4.9)$$

を決定する制御問題が定式化できたことになる。ここに各氾濫ブロックの被害額は、 t 期における氾濫ブロックの資産ポテンシャルを $E_n^s(t)$ とすれば、

$$\delta_n(t) = F_n[S_1, S_2, \dots, S_k, Q, E_n^s(t)] \quad (4.10)$$

に示すように、各事業ブロックの進捗度と洪水規模および氾濫区域の資産ポテンシャルによって求められるものとする。

このような制御プロセスの問題を対象とした解析手法として、一般に動的計画法（DP）⁵⁾⁶⁾あるいは最大原理⁷⁾の適用が考えられる。最大原理とは、システム方程式ならびに目的関数から構成されるハミルトニアン関数を最大または最小にしながらか境界値問題を解く方法であり、最適性を保証しながら実行可能な解を探索するアプローチをとる。一方、DPによる解法は、最適性の原理により導かれた関数方程式を用いて通常の列挙法を行うものである。両手法ともそれぞれに特色があるが、DPは最大原理とは異なりシステム方程式に対して特有の形を要求することはなく、また目的関数をあらゆる可能な決定変数に対して比較検討するため最適解（global optimum）を得る可能性が高い。さらに比較的容易に感度分析を行えるという利点をもっている。ここでは、このような諸点を考慮しDPを適用した段階的施工計画の最適化システムの検討を行う。

3-2. 段階的施工計画へのDP理論の適用

(1) DP理論の適用事例

DPは多段階決定過程を対象とした最適化の数学的手法の一つである。すなわちその目的とするところは、過程がいくつかの段階よりなり、各段階での決定が以降の段階における決定を制約するという状況に対して、全段階後の目的関数を最適ならしめるような政策（optimal policy）を求めることにある。そのために“最適性の原理（principle of optimality）”によって妥当性が保証された関数方程式を立てることになる。ここに、最適性の原理とは“最初の状態がどうであれ、またそれに対してどのような決定がなされたとしても、初期の決定によって生じた状態に対して以後に行われる決定はそれ自体最適政策でなければならない”というものであり、多段階決定過程におけるマルコフ性を利用したものである⁸⁾。

一般に、社会資本整備計画は段階的に進められる場合が多く、そのため、段階的整備計画へのDP理論の適用は古くから数多くなされている。その1つにSorensenによる水資源開発計画への適用がある。⁹⁾ 我が国においては昭和40年代に入って水資源開発計画、¹⁰⁾ 道路建設計画、¹¹⁾ 港湾建設計画の段階的整備計画において適用されている場合が多い。江藤は、これらDP理論の適用計画の内容を、計画における需要と供給という視点から過剰容量問題と不足容量問題という二つの側面に分類し、図4.3.2

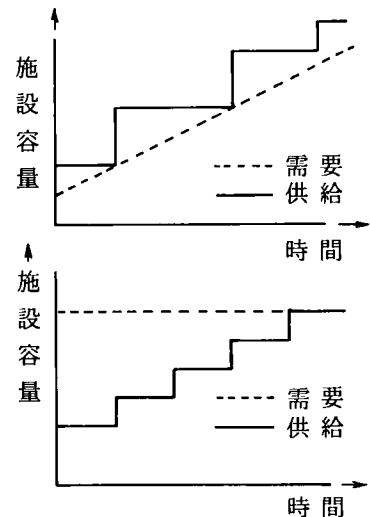


図4.3.2 DP理論の適用場面

に示すように定義している。¹³⁾ 前者は道路建設事業に見られるように、現在の需要量 D_0 と将来の需要量 D_T に大きな変化があることを前提として、計画供給量 S との関係が、 $D_0 < D_T \leq S$ を満足している状態で成立するもので、最終需要が顕在化するまでの期間において、容量の過不足による経済性と規模の経済性とのトレード・オフの関係から時間軸上に施設建設規模を決定するものである。

上記した、水資源開発計画、道路建設計画、港湾建設計画へのDP理論の適用は概ねこのような関係を解析したものである。

一方、不足容量問題とは、需要が常に供給量をオーバーしている場合を意味しており、治水施設計画に代表される。治水計画におけるDP理論の適用についてみると、稲田の「貯水池群による淀川水系の最適洪水調節に関する研究」¹⁴⁾や池淵・小尻らの研究がある。¹⁵⁾ 稲田の研究では、流域の洪水災害時の被害を最小限に止めるよう、複数の貯水池の最適な時空間的制御系列を得るための手法として適用している。

治水計画へのDP理論の適用については、本論と研究意図を同じくしたY.K.TUNG, L.W.MAYSによる研究がある。¹⁶⁾ しかしながら、彼等の開発した最適化システムにおいては、本論で主張している、上下流問題や左右岸問題

の重要性についての配慮がなされているとは言えない。すなわち、最適化システムにおいて、治水事業の進捗による洪水流況の変化を考慮するまでに致っていない。

(2) 段階的施工計画のDP理論による定式化

さて、治水事業における段階的施工計画へのDP理論の適用にあたり、前掲の式を離散的に表現する。

まず、全計画対象期間がT期に分割されるものとして、期番号を t ($t = 1, 2, \dots, T$)で表示すると、(4.1)式は、

$$M_k(t) = M_k(t-1) + m_k(t) \quad (4.1)'$$

となる。ただし $M_k(0) = 0$ とする。同様に(4.2)式は次の式のように変換される。

$$\sum_{\tau=1}^t m_k(\tau) = M_k(t) \pm \epsilon \quad (4.2)'$$

(4.2)については、投資配分額 m_k を離散値として取り扱っており、投資配分額の等号制約を厳密に設定すると、解空間を極端に狭くするため、ここでは許容範囲 ϵ を認めている。なお(4.3)式については、離散的取扱い後も表示自体は変わらないが、その意味するところは各工事単位で階段関数的に整備が進められることになる。(4.5)(4.6)(4.7)式についても表示自体は変わらない。さて、評価関数 J は、

$$J = \sum_{t=1}^T D_t(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N) \quad (4.8)'$$

となる。ここで $D_t(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N)$ の具体的設定については後節で詳述するものとし、ここではこの表現で留めておく。

さて、以上の準備のもとでDPによる定式化を行う。前進型計算法をとるものとして、任意の第 t 期までの最適段階投資系列 $\{M_k(t)\}$ による評価関数の最小値を $f_t(S_1, S_2, \dots, S_k)$ とする。 f_t は第 t 期末の各工事単位の洪水処理能力 $S_k(t)$ の関数である。

(4.8)式と最適性の原理により次の関数方程式が導かれる。

$$\begin{aligned}
f_t &= f_t (S_1, S_2, \dots, S_K) \\
&= f_t (G_1 [M_1], G_2 [M_2], \dots, G_K [M_K]) \\
&= \min \{D_t (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N) + f_{t-1} (S_1, S_2, \dots, S_K)\} \quad (4.11)
\end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^K M_k (t) = R (1) + R (2) + \dots + R (t) = \sum_{\tau=1}^t R (\tau) \quad (4.12)$$

$$S_k(t-1) \leq G_k [M_k(t)] = S_k(t) \leq S_k(T) \quad (4.13)$$

記号の内容

K	: 治水事業のブロック数
N	: 氾濫ブロック数
T	: 最終期番号
k	: 事業ブロック番号 $1 \leq k \leq K$
n	: 氾濫ブロック番号 $1 \leq n \leq N$
t	: 期番号 $1 \leq t \leq T$
$M_k(t)$: t 期までの事業ブロック k への累積投資配分額
$m_k(t)$: t 期の事業ブロック k への投資配分額
$R(t)$: t 期の総投資額
$S_k(t)$: t 期の事業ブロック k の洪水処理能力
Q	: 洪水規模
$\delta_n(t)$: 氾濫ブロック n の被害額
G_k	: 事業ブロック k の事業費－洪水処理能力の関数
D_t	: 氾濫ブロックの被害額 δ_n によって説明される評価関数 (例えば総被害額などが考えられる。)
J	: 評価関数 D_t の時間積分値
f_t	: t 期までの最適投資系列によって得られる目的関数 J の最小値
E_n^s	: 資産ポテンシャル
E_n^p	: 人口ポテンシャル

この漸化式を解くためには、現況 $t = 0$ における評価関数値 f_0 (S_1, S_2, \dots, S_K) を求めておく必要がある。これは (4, 6) 式より

$$\begin{aligned} f_0 (S_1, S_2, \dots, S_K) &= D_0 [S_1(0), S_2(0), \dots, S_K(0), Q] \\ &= D_0 [\delta_1(0), \delta_2(0), \dots, \delta_2(0), \dots, \delta_N(0)] \end{aligned} \quad (4.14)$$

として設定され、いわば現況河道における地域内各氾濫ブロックの被害額をもとに求められる D_0 がそのまま適用される。

以上で前進型 DP の定式化を終えたが、後進型 DP についても同様に定式化は可能であり、計画目標値 $S_K(T)$ から現況河道 $S_K(0)$ に向かって演算を進めるという逆のアプローチをたどることになる。

このように、DP 理論は計画期間全期を通じての最適な計画を導くことが可能となる。

ところで、以上の定式化は計画期間全期を通じての最適な計画を意図した立場のものであるが、一方では、各期別に最適な計画を立案すれば良いとする立場も考えられる。本論では、前者を「全期最適化」と呼び、後者を「各期最適化」と呼ぶことにする。

この各期最適化システムについてもモデル変数の定義、状態方程式、決定変数の制約条件ならびに評価関数の設定を行う必要があるが、全期評価システムとの相違点は基本的に評価関数にのみあり、他の諸条件については変わらない。すなわち、全期評価システムでは、全計画期間を通じての評価関数値が最小となるように段階的施工系列を求めるのに対し、各期別評価システムでは、各期ごとに評価関数値が最小となる施工パターン（あるいは投資配分）を探索し、前期 $t-1$ で決定された改修方式（原則として唯一）は今期 t の決定の与件としてのみ位置付けられることになる。このことを定式化すると以下のである。

$$\begin{aligned} f_t (S_1^*, S_2^*, \dots, S_K^*) &= \min D_t (S_1, S_2, \dots, S_K, Q) \\ &= \min D_t (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N) \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\sum_{k=1}^K M_k(t) = \sum_{\tau=1}^t R(\tau) \quad (4.16)$$

$$S_k^*(t-1) \leq G_k[M_k(t)] = S_k^*(t) \leq S_k^*(T) \quad (4.17)$$

ただし、式中の $f_t(S_1^*, S_2^*, \dots, S_K^*)$ は、第 t 期評価関数の最小値を意味し、他の変数については、全期評価システムモデルと同義である。この問題の解法は、第 1 期から第 T 期まで T 回の最適化計算を繰り返すことによって対処できる。

第 4 節 段階的施工計画の目的と評価関数

4-1. 効率の最大化と評価関数

洪水災害による被害は、図 4.4.1 に示すように多様で広範囲に及ぶが、本論では、これらの被害のうち現在、計量化の可能な直接的被害を対象とする。また、直接的被害は人命・資産等の一般被害と堤防、橋脚等の公共工木施設被害等に区分されるが、本論文においては、一般資産被害に限定する。

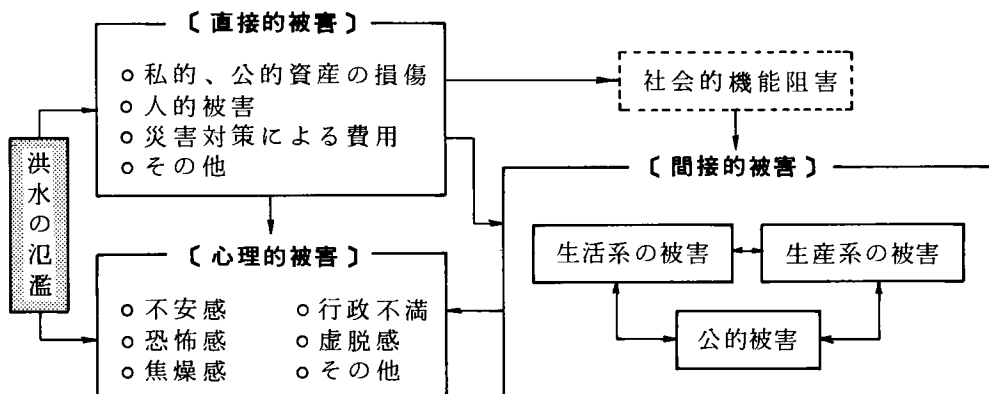


図 4.4.1 洪水災害による被害の構造

なお効率最大化の 1 指標でもある費用・便益比 (B/C) の最大化については、①段階的施工計画の与件となる治水計画規模の設定段階において、規模の経済性ならびに社会的割引率を考慮した長期的な視点から治水事業の妥当性、すな

ぎと破堤を生じさせながら下流に浸入していく様子が現実に近い形で再現されているように思われる。しかしながら、ここで述べた解析方法を淀川右岸流域と類似の地形の流域に適用することによって、治水上の種々の施策を検討するためには、破堤のメカニズムを明らかにして破堤時刻等を正確に推定する必要がある。

第 4 節 猪名川多田流域

4-1 流域および氾濫の概要

この流域は淀川の支川である猪名川の上流部に位置し、図 3-4-1 に示すように面積 5 km²程度の小流域であるが、この区間の河道の上流端および下流端が狭窄部となっているために、過去しばしば洪水氾濫に見舞われてきた。近年、猪名川流域では急速な都市化が進行して中・下流部は典型的な都市河川の様相を呈し、最近では水源に近いところにまで開発が及んできた。したがって、多田流域にも洪水氾濫に関する十分な知識を持たない人々が居住する傾向にあり、建設省や関係自治体では総合治水対策の一環として、過去の実績浸水区域を公表するなどの対策をとっている。

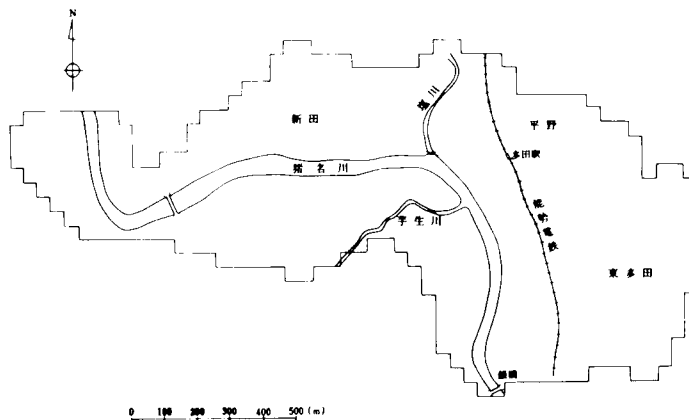


図 3-4-1 流域の概要

本解析で対象とする洪水氾濫は昭和 47 年 9 月の台風 20 号(以下 7220 号台風と呼ぶ)によるものである。この台風による出水によって多田流域は昭和 28 年、35 年、42 年に続く浸水被害をうけた。7220 号台風は

$$\begin{aligned}
D_t &= \sum_{n=1}^N d_n(t) \\
&= \sum_{n=1}^N d_n \cdot e^{-rt_0} (e^{rt_0} - 1) / r
\end{aligned} \tag{4.20}$$

となる。

(2) 被災人口の最小化

被害額と同様に、洪水規模 Q 、 t 期の氾濫ブロックの人口ポテンシャルを $E_n^p(t)$ とすれば各事業ブロックの洪水処理能力 S_k のもとでの氾濫ブロック n の被災人口を、

$$\Phi_n = H_n [S_1, S_2, \dots, S_k, Q, E_n^p(t)] \tag{4.21}$$

という関数で表すと、年平均想定被災人口は、

$$\begin{aligned}
p_n &= \bar{H}_n [S_1, S_2, \dots, S_k, E_n^p(t)] = \int_0^\infty \Phi_n \cdot P(Q) dQ \\
&= \int_0^\infty H_n [S_1, S_2, \dots, S_k, Q, E_n^p(t)] \cdot P(Q) dQ
\end{aligned} \tag{4.22}$$

として求まる。したがって評価関数 D_t は、

$$D_t = \sum_{n=1}^N p_n \tag{4.23}$$

と定式化される。

4-2. 公平化と評価関数

改修事業の1つの重要な概念でもある公平化に対応する評価関数として被害の地域的アンバランスの是正、地域的整備進捗度のアンバランスの是正について定式化を検討する。

(1) 被害の地域的アンバランスの是正

いま氾濫ブロック n の想定最大氾濫区域内人口を MP_n とし、年平均被害額を上記の $d_n(t)$ とすると、ブロック n の住民1人当たり被害額 ${}_m d_n$

$${}_m d_n = d_n(t) / MP_n \tag{4.24}$$

として求まる。これより評価関数 D_t は

$$\begin{aligned} D_t &= \max_n \{d_n - md\} \\ &= \max_n \{d_n(t) / MP_n - md\} \end{aligned} \quad (4.25)$$

と表現できる。ただし md は地域の 1 人当り平均被害額であり、

$$md = \sum_{n=1}^N d_n / N = \sum_{n=1}^N d_n(t) / (N \cdot MP_n) \quad (4.26)$$

である。この考え方は、地域の平均値を基準として住民 1 人当り被害額の最も高い氾濫ブロックの被害を軽減しようとするものであり、いわばマックスミニ法の発想に基づいている。

(2) 地域的整備進捗度の均衡化

まず事業ブロック k の整備進捗度 $Z_k(t)$ を次式のように定義する。

$$Z_k(t) = \frac{S_k(t) - S_k^0}{S_k^T - S_k^0} \quad (4.27)$$

ここに

$S_k(t)$: t 期における事業ブロック k の洪水処理能力。

S_k^0 : 事業ブロック k の初期洪水処理能力。例えば原始河道における疎通能力などが該当する。

S_k^T : 計画目標達成時の洪水処理能力。 $S_k(T)$ に等しい。

である。以上の前提のもとで評価関数 D_t を次のように設定する。

$$D_t = \min \{Z_k(t)\} \quad (4.28)$$

すなわち初期洪水処理能力では進捗度 0 %、計画目標達成時点で進捗度 100 % と考えたときに、進捗度 $Z_k(t)$ の最も低い事業ブロックの整備を推進することにより、地域全体として進捗度のアンバランスを解消しながら事業を進めることを狙ったものである。

4-3. 多目的評価と評価関数¹⁷⁾

治水事業では4-1, 4-2で挙げた2つの評価指標を同時に満足させることが望まれるが、往々にして、相競合する両評価指標をどのような理念に基づいて調和させていくかは極めて難しい問題である。

ここでは、これまでの単一指標による評価ではなく、複数の評価指標を総合的に評価するために必要な多目的評価の定式化を試みる。対象とする複数評価指標として、

- ・ 効率性重視の概念として総被害額の最小化
- ・ 公平性重視の概念として住民1人当たり被害額の均衡化

を取りあげる。

多目的評価の具体的な定式化にあたっては、スカラー化手法を適用する。この解析手法は、複数評価関数を重み付けすることによってスカラー化し、このスカラー評価関数を最小化（あるいは最大化）する問題として解く方法である¹⁸⁾。

ここで、特に注意を要する点は、この解析手法ではあくまでスカラー化された評価関数の絶対値を最小化しようとするため、複数指標のなかでも桁の大きい評価関数を重点的に最小化するような解を選好することである。例えば、総被害額が数百億円のオーダーで変動し、住民の個人当たり被害額の最大値が数十万円のオーダーで変動するといった場合には、仮にこれらの指標に10:90という重み付けをしたとしても絶対値としては総被害額の方が大きく、これを最小化した場合に近い解を得ることになる。これでは意図した重み付けが意味をなさない。同一の指標であっても、円、万円、億円という表示単位に差異をつけることによって解が変動する可能性があり、各評価関数に重み付けする前に、何らかの方法で基準化し、いわば桁を揃えておくことが必要である。ここでは次式で定義する達成度という概念を導入し、この達成度に重み w^1, w^2 ($w^1 + w^2 = 1$) を掛け合わせる方法をとることとする。

- ・ 各評価関数の達成度

$$\text{評価関数の達成度 } F_i^1 = \frac{D_i^1(S) - \underline{D}_i^1}{D_i^1 - \underline{D}_i^1} \quad (i=1, 2) \quad (4.29)$$

ここに、

$$D_i^1(S) : \text{評価関数} \begin{cases} i=1 : \text{総被害額,} \\ i=2 : \text{個人被害額の最大偏差値} \end{cases}$$

\underline{D}_i^1 : 今期の投資によって最大限達成し得る評価関数値 (最小値)

\overline{D}_i^1 : 評価関数値の最大値

スカラー評価関数

$$D_i = w^1 \cdot F_i^1 + w^2 \cdot F_i^2 \quad (4.30)$$

w^1, w^2 : 重み係数 ($w^1 + w^2 = 1$)

第5節 最適化システムに適用する洪水氾濫モデルの開発

治水事業の段階的施工計画の最適化システムの目的関数を構成する基本的指標は洪水災害による「被害額」と言える。この、被害額を最適化システムで取り扱うためには、システムは以下の3つのサブシステムを必要とする。

- ① 最適化システムにおける決定 M_i に基づく状態 S_i を記述するシステム
- ② 状態 S_i での洪水氾濫規模 V_i を記述するシステム
- ③ 洪水氾濫規模 V_i での被害 d_i を記述するシステム

すなわち、治水事業の段階的施工計画最適化システムは上記のサブシステムとともに、図4.5.1のように構成される。本節では、このうち最も基本となる洪水氾濫モデルについての検討を行う。

5-1. 最適化システムにおける洪水氾濫モデル

最適化システムにおいて必要とされる洪水氾濫モデルは図4.5.1にも示しているように、治水事業の実施に伴う河道洪水流の変化とそれに伴って生起する堤内地の洪水氾濫現象を解析することが可能なものである。

洪水時の河道の洪水流況を解析するモデルとしては、一次元不定流モデル、貯留関数法などがあるが、これらのモデルでは破堤・溢水による堤内地の洪水氾濫についての解析は不可能である。また、近年の氾濫区域内の都市化の進展

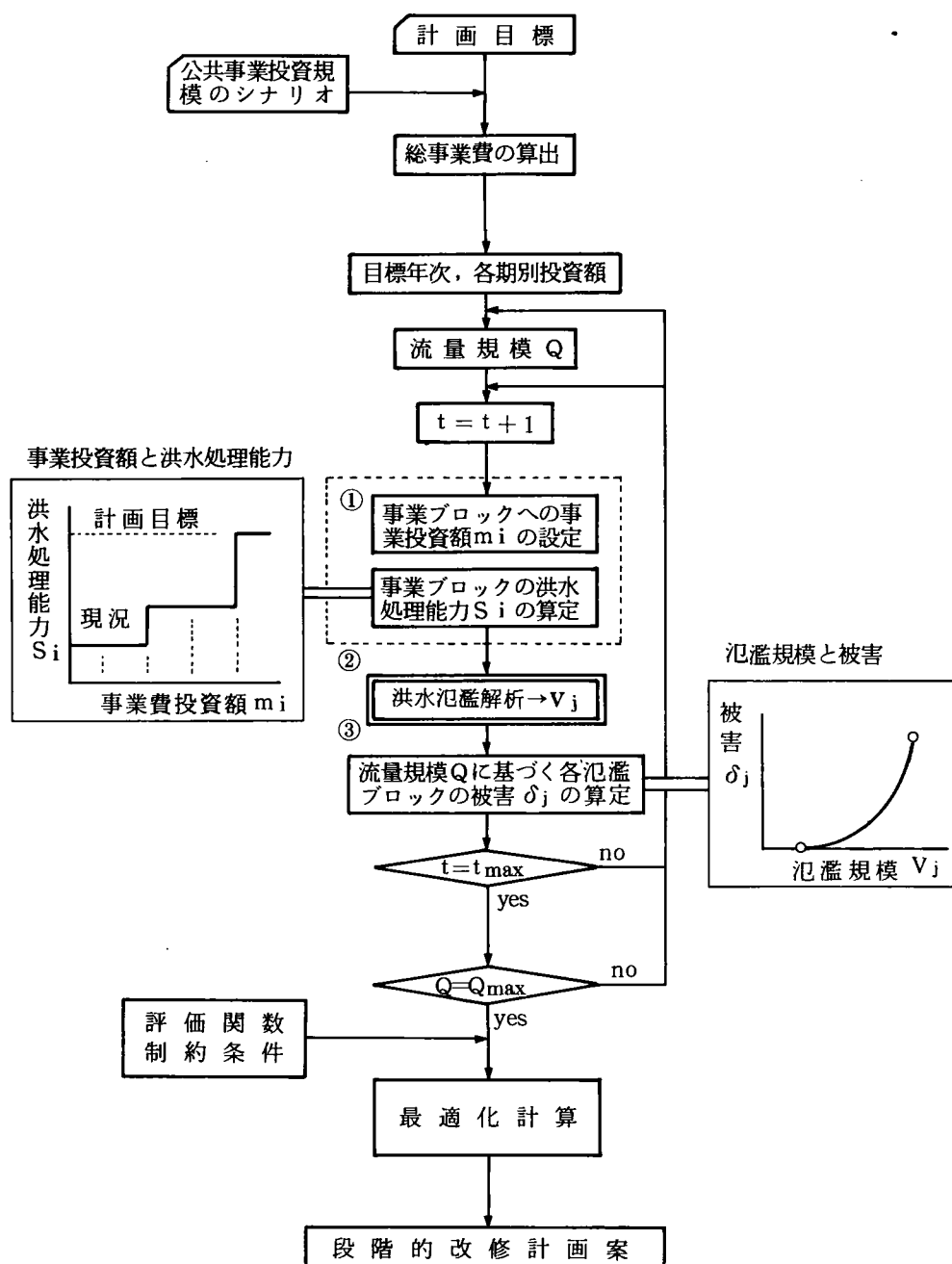


図4.5.1 河川改修の段階的施工計画の最適化システムの概要

に伴って、氾濫区域内には道路や鉄軌道などの洪水氾濫水の挙動に大きな影響を及ぼす工作物が数多く建設されており、堤内地の洪水氾濫解析は極めて困難となっている。治水事業における警戒避難システムの確立や土地利用の適性化などソフトな対策の重要性とあいまって、このような堤内地の氾濫解析技術の開発が急がれる。そのような背景のもとで、西原は「氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究」¹⁹⁾のなかで、河道と堤内地の洪水氾濫現象を同時に取り扱うことの可能な二次元不定流モデルを開発している。現在のところ、堤内地の複雑な地形条件のなかで、氾濫水の挙動を解析するモデルとしては、この二次元不定流モデルによる以外にない。

ところで、この二次元不定流モデルは、河道および堤内地の洪水氾濫の挙動を詳細に把握する上で非常に有効な方法ではあるが、一方では、計算に多大な時間と費用を必要とする。本最適化システムのように、複数の事業ブロックによる段階的の施工計画の進め方は膨大な組合せがあり、これら段階的の施工計画案の全てについて、事業の実施に伴う洪水氾濫の現象を二次元不定流モデルにより解析することは現実的に不可能と言える。

このような場合の策として、これまでの対処法についてみると、河道の洪水追跡計算を一次元不定流モデルや貯留関数法で解析し、懸案地点の河道洪水流況から、横越流公式により堤内地への流出流量を求める場合が多かった。そして、堤内地への流出流量をもとに水位～湛水量モデルにより、治水経済調査等が実施されてきたと言えよう。このような方法では確かに解析のための演算時間は短縮されるが、一方では、その適用が可能な流域は極めて少なく、一般的ではない。このような方法の適用が可能な河川流域の条件として、

- ① 山地性の流域で氾濫区域が狭小で流下拡散型の氾濫形態を呈していないこと。
- ② 河道と堤内地とが堤防等ではっきりと分断されていること。
- ③ 堤内地に盛り土を施した道路や鉄軌道等の氾濫水の挙動に大きな影響を及ぼす工作物のないこと。

などを指摘できる。前述してきたように、近年の氾濫区域内の人口・資産の集積等により、このような条件を満足する河川流域は極めて少ないといえるが、

これらの条件を満足している河川流域においてはシステム解析上、この方法によることの利点は大きい。

一方、このような方法のとり得ない河川流域における方法については、洪水氾濫現象を二次元不定流モデルで解析をせざるを得ないことになる。その場合、最適化システムに二次元不定流モデルを内装するのではなく、同モデルによる予備的検討結果に統計解析手法を適用して、最適化システムで求められる情報を求められる精度でアウトプット可能な方法を開発する必要がある。

このように考えて、以下にその2つの方法論を提案する。

5-2 貯留関数法をベースとした簡便法

貯留関数法とは、河道の貯留量 S をその流出流量 Q の指数関数として表したものであり、その運動方程式は次式のようになる。

$$S = k Q^p \quad (4.31)$$

k , p : 河道の定数

この貯留関数法を最適化システムに組み入れる場合、以下の補完システムを具備しておく必要がある。すなわち、破堤による堤内地への氾濫流入量を把握するシステムである。筆者は、この補完システムとして、稲田が提案した流下率モデル²⁰⁾

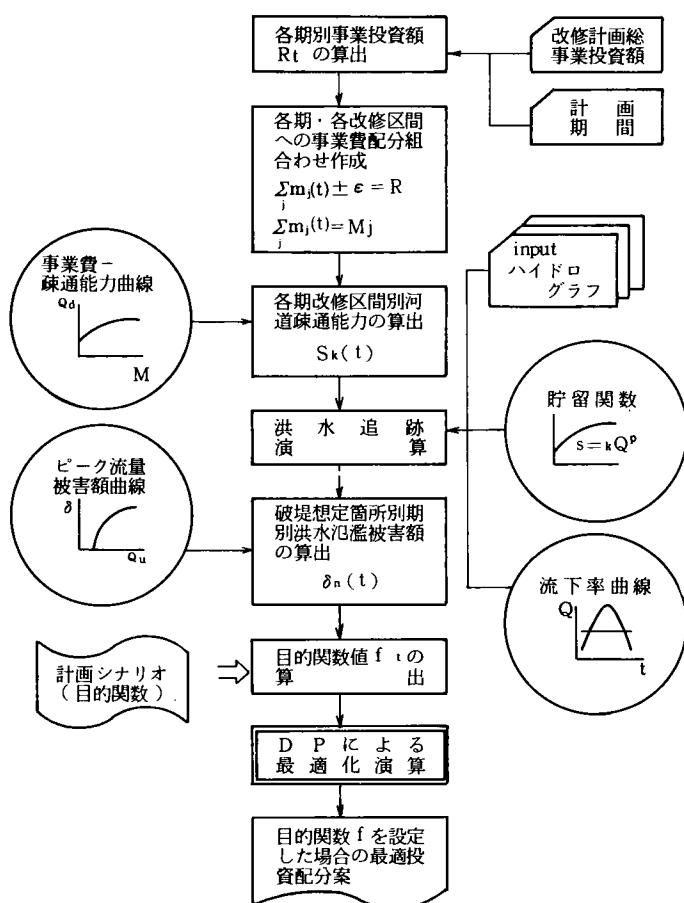


図4.5.2 貯留関数法を適用した最適化システムの概要

を適用することを考え、図 4.5.2 に示すように最適化システムを構成した。なお、流下率モデルとは、河道における破堤地点直上流の洪水流量を Q_u 、また、破堤開始流量を Q_d とした場合、図 4.5.3 に示すように、破堤地点下流へ流下する流量 Q_L の Q_u に対する比を流下率 F_d と定義し、

$$F_d = \frac{Q_L - Q_d}{Q_u - Q_d} = \text{一定}$$

とするものである。

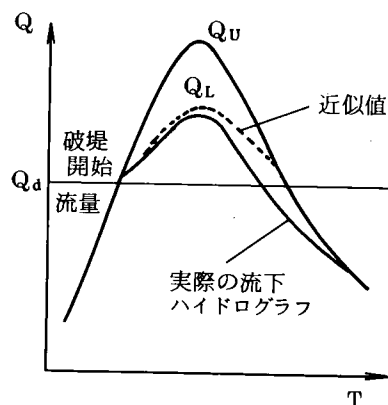


図4.5.3 流下率モデル

5-3. 実験計画法を適用した湛水量予測モデル

(1) 二次元不定流モデルの概要

前述したように、河川堤防の破堤に伴う洪水の堤内地への氾濫あるいは内水による堤内地の湛水の解析にあたっては、従来、堤内地での湛水面は水平であるとして堤内地の水位～湛水量曲線を用いる方法が採られることが多かったようである。しかし、この方法では湛水の初期や減衰期において水面勾配が無視しえない場合に不適当なばかりでなく、周囲が堤防等で囲まれているような水の運動にたいして閉じられた領域にしか適用できないという本最適化システムに用いるには大きな問題点をもっている。二次元不定流による洪水氾濫現象モデルは、このような欠点を解決するに優れたモデルである。モデルの詳細は参考文献に譲るとして、ここではその基本理論のみを簡単に記述する。

いま、水平面内において東向きに X 軸、北向きに Y 軸をとると、二次元不定流モデルの基礎式は、

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (4.33)$$

$$\text{X 方向の運動方程式: } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uM + \frac{\partial}{\partial x} vM = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad (4.34)$$

$$\text{Y 方向の運動方程式: } \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uN + \frac{\partial}{\partial y} vN = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad (4.35)$$

と記述できる。

ここに、 u および v : それぞれ X および Y 方向の深さ方向に平均された流速、
 h : 水深、 $M = uh$ および $N = vh$: それぞれ X 及び Y 方向の流量フラックスである。 τ_{xb} および τ_{yb} は底面において作用する X 及び Y 方向のせん断応力である。

なお、水表面で圧力は一定で大気圧に等しいとすると、静水圧分布 $P = \rho g(H - z)$ が得られる。

つぎに、(4.33) 式および上の静水圧分布と(4.34)式、(4.35)式の x および y 軸に関する式から二次元平面流れの基礎式を導くには、図4.5.4に示すようにコントロールボリュームについて両式を積分する。その結果、基礎式として、(4.36)、(4.37)、および(4.38)がえられる。

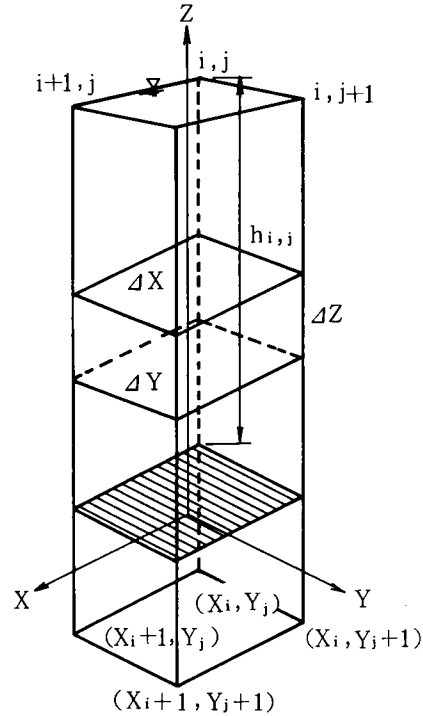


図4.5.4 コントロール・ボリューム

連続式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{\Delta y} [M]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} [N]_{y_j}^{y_{j+1}} = 0 \quad (4.36)$$

X 方向の運動方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} [uM]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} [vM]_{y_j}^{y_{j+1}} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad (4.37)$$

Y 方向の運動方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} [uN]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} [vN]_{y_j}^{y_{j+1}} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad (4.38)$$

二次元不定流モデルを適用する場合、前述したように、最適化システムに直接的に内装することは不可能なので、対象地域の改修にともなう洪水氾濫の挙動を二次元不定流モデルにより予備的に解析し、その結果に各種の統計手法を導入することにより、数少ない予備的解析の結果から、あらゆる改修パターンに適用しても洪水氾濫現象を、ある一定の信頼度を持って表現可能な新しいモデルを開発する必要がある。

本論では、事業の進捗に伴う洪水氾濫現象の変化を各氾濫ブロックの湛水量 V の変化として捉え、ある計画案が、氾濫ブロックの湛水量にどの程度の影響を及ぼすかを統計的手法を用いてモデル化することを考える。もっとも、モデル化にあたっては、

① 最適化システムにおいて、複数の事業ブロックが作り出す段階的施工計画案は無数とも言える。

② 氾濫ブロックに着目した場合、湛水量に影響を及ぼす事業区間は1つとは限らず、複数の事業区間が作用しあって影響する場合が多い。特に、洪水氾濫という複雑な自然現象を対象としているため、湛水量が各事業区間のもたらす影響の和、すなわち、線型結合としてのみ説明されとは考えられず、事業区間相互の相乗的な影響すなわち非線形的な影響が説明される必要がある。

という問題が残されており、新しいモデルを作成するための予備的解析に多大な労力を要する。ここでは、これらの点を考慮し、実験計画法の適用を考える。

(2) 実験計画法の適用

最適化システムにおいて、洪水氾濫解析結果の情報として必要となるものは、「氾濫ブロック j の洪水氾濫による湛水量 V_j 」に着目した場合、事業の実施内容により V_j がどの程度変化するか」と云うことができる。すなわち、事業実

施内容を S_i とした場合、流量規模 Q において、氾濫ブロック j の湛水量 V_j が、

$$V_j = F(S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_{i_{\max}}, Q) \quad (4.39)$$

と統計的に有意に表現できれば良いことになる。

ここに、 S_i は事業ブロック i の整備水準である。

さて、この関数を、二次元不定流モデルによる氾濫解析の結果から決定することになるが、一般に湛水量 V_j は各事業ブロックの整備水準 S_i のもたらす影響の和、すなわち、線型結合として説明されるとは考えられず、事業ブロック相互の相乗的な影響、つまり、非線型的な関係として説明されねばならない。

また、一方では、上記の関数をできるだけ数少ない二次元不定流解析で決定することが求められる。このような要件を満足する統計的手法に実験計画法がある。

以上のように考え、本論は実験計画法を適用し、治水事業の実施に伴う氾濫ブロックの湛水量予測モデルを開発する。

(3) 実験計画法による湛水量予測モデル^{22) 23)}

改修事業の実施に伴う、氾濫区域の湛水量を洪水氾濫解析の結果から統計的に予測するモデルを作成する場合、標本（氾濫解析結果）は予測モデルの説明要因（事業ブロックとその事業実施レベルで規定される）が多くなれば、非常に数多くが必要となる。とりわけ、洪水氾濫現象は個々の事業が湛水量に線形的に影響を及ぼす場合は殆ど無く、非線形的に影響するため、モデルの説明要因としては、個々の事業の単独的な効果（主効果）のみでなく、事業相互の組合せ効果（交互作用効果）を考慮する必要がある。そのため、一般的な統計的手法によるとモデルを構築するために必要となる洪水氾濫解析のケース数は多くなる。

二次元不定流モデルは洪水氾濫現象に関する詳細な情報を提供してくれるが、一方では、演算に必要な時間は旧来の流出解析モデル等にと比べると長時間を必要とする。そのため、このような場合には数少ない氾濫解析から、各要因の主効果および要因相互の交互作用効果を効率よく把握することが重要となる。

実験計画法とは、求めようとする事業実施と湛水量との関係を予め設定し、その関係式の中に含まれる要因（ここでは、事業区間の進捗状況を指す）の持つ目的変量（ここでは、氾濫ブロックの湛水量を指す）への寄与の大きさを最も少ない実験（氾濫解析）で求めるための手法であり、かつ、複数の要因の交互作用（例えば、築堤と掘削を同時に施工した場合、もしくはどちらか一方が施工された場合等の影響）を同時に分析することが可能となる。

図4.5.5に実験計画法を適用した、湛水量予測モデルの作成フローを示しているがその内容について以下に紹介する。

(3)ー1 湛水量予測モデルの構造

湛水量予測モデルを作成するにあたり、ここでは、まず予測モデルの概要を紹介するものとし、実験計画法による予測モデルのパラメータすなわち要因効果値の決定については次項で詳述する。

予測モデルの概要を説明するため、図4.5.6に示す氾濫ブロック2、改修区間4（築堤区間3、掘削区間1）によって構成されるモデル流域を考える。ある洪水規模 Q に対する氾濫ブロックBの湛水量 V_B は区間①、②、③の築堤、区間④の河道掘削の単独効果と築堤①・掘削④の交互作用で説明されるものとし、また各要因効果値は既に実験計画法によって求まっているものとして、モデルの構造式を次のように定式化する。

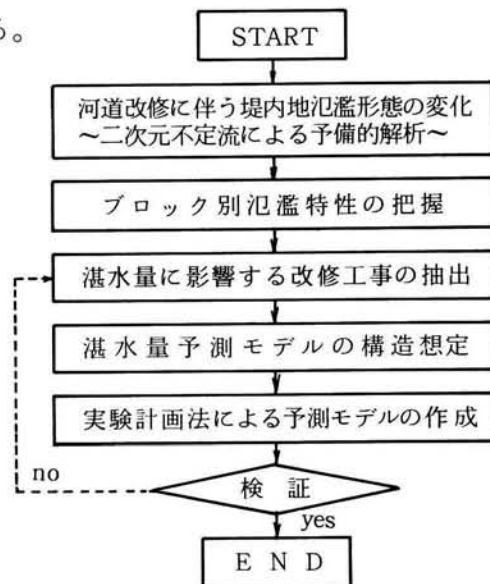


図4.5.5 湛水量予測モデル作成フロー

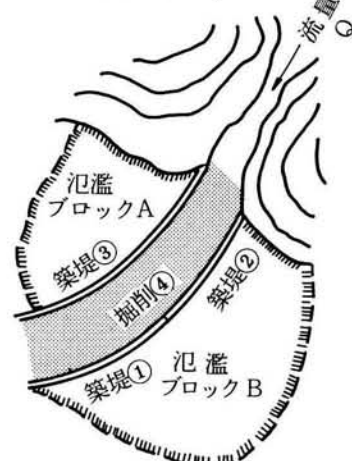


図4.5.6 モデル流域

$$V_B = V_B^0 + \alpha(i) + \beta(j) + \gamma(k) + \lambda(\ell) + \alpha\lambda(i, \ell) \quad (4.40)$$

$$(i=1,2,\dots, i_{\max}; j=1,2,\dots, j_{\max}; k=1,2,\dots, k_{\max}; \ell=1,2,\dots, \ell_{\max})$$

ここに、

V_B : 氾濫ブロック B の湛水量

i, j, k, ℓ : 例えば、 i は区間①の築堤整備水準であり、 i の値は事業実施案により一意的に定まる。

$\alpha(i), \beta(j), \gamma(k)$: 築堤区間①、②、③の改修状態 i, j, k に対応した湛水量の変化量（主効果）

$\lambda(\ell)$: 掘削区間④の改修状態 ℓ に対応した湛水量の変化量（主効果）

$\alpha\lambda(i, \ell)$: 築堤①と掘削④による交互作用効果

V_B^0 : 改修状態 i, j, k, ℓ を種々変化させた場合の氾濫ブロック B の平均湛水量

$i_{\max}, j_{\max}, k_{\max}, \ell_{\max}$: 築堤①、②、③ならびに掘削④の事業実施水準のランク数である。

また、各要因の効果を平均湛水量からの偏差として認識すると以下が成立する。

$$\sum_{i=1}^{i_{\max}} \alpha(i) = 0 \quad (4.41)$$

$$\sum_{j=1}^{j_{\max}} \beta(j) = 0 \quad (4.42)$$

$$\sum_{k=1}^{k_{\max}} \gamma(k) = 0 \quad (4.43)$$

$$\sum_{\ell=1}^{\ell_{\max}} \lambda(\ell) = 0 \quad (4.44)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{\max}} \alpha\lambda(i, \ell) = \sum_{\ell=1}^{\ell_{\max}} \alpha\lambda(i, \ell) = 0 \quad (4.45)$$

(4.40) 式の意味を明らかにするため、ここでは特に区間②の築堤による湛水量の変化に着目し、築堤の状態数すなわち水準数を 2（水準 1 = 未改修、水準

2＝築堤完了)とした場合について見る。他の要因の水準はそれぞれ i_0 , k_0 , ℓ_0 とする。

ここで、 ΔV を、

$$\Delta V = \alpha(i_0) + \gamma(k_0) + \lambda(\ell_0) + \alpha\lambda(i_0, \ell_0) \quad (4.46)$$

と置くと、(4.40) 式より②築堤前後の湛水量 V_B^S , V_B^E はそれぞれ、

$$V_B^S = V_B^0 + \beta(1) + \Delta V \quad (4.47)$$

$$V_B^E = V_B^0 + \beta(2) + \Delta V \quad (4.48)$$

と記述される。ここで $\beta(1)$, $\beta(2)$ はそれぞれ区間②が未改修、築堤完了のときの湛水量（主効果）である。また(4.42) 式より、

$$\beta(1) = -\beta(2) = \Delta\beta \quad (4.49)$$

と置くと、

$$V_B^S = V_B^0 + \Delta\beta + \Delta V \quad (4.50)$$

$$V_B^E = V_B^0 - \Delta\beta + \Delta V \quad (4.51)$$

と変換され、区間②の築堤に伴う湛水量の変化は図4.5.7に示すように、

$$V_B^E - V_B^S = V_B^0 - \Delta\beta + \Delta V - (V_B^0 + \Delta\beta + \Delta V) = -2\Delta\beta \quad (4.52)$$

として求まる。他の要因を考え
た場合にも同様である。すなわ
ち、先述したように氾濫ブロッ
クの湛水量 V_B は、平均湛水量
 V_B^0 と改修状態を種々変化させ
たときの偏差（効果）の和とし
て表現され、言い換えれば、次
項の実験計画法により平均湛水
量ならびに効果の値が予め判明
していれば、任意の改修状態に
対して、湛水量は (4.40) 式よ
り予測することができる。

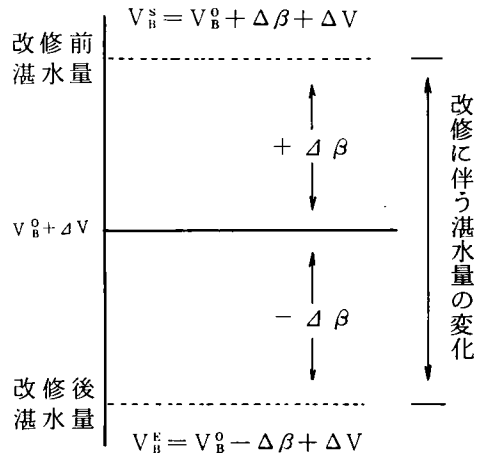


図4.5.7 区間②の築堤のブロックB
への影響度

(3)ー2 実験計画法による湛水量予測モデルの要因効果の算定

さて、平均湛水量ならびに効果値を具体的に求めることになるが、ここでは直交配列表による実験計画法を適用するものとし、上述のモデル流域で説明する。築堤ならびに河道掘削の取りうる状態すなわち水準を表4.5.1に示すように設定する。

直交配列表とは実験ケース毎に各要因の水準が割り付けられたマトリックスであり、要因数ならびに各要因の水準数に対応して数種類のものが用意されて

表4.5.1 要因とその水準

要因 水準	築堤①	築堤②	築堤③	掘削④
1	築堤前	築堤前	築堤前	掘削前
2	築堤後	築堤後	築堤後	掘削後

いる。これを用いることにより、必要最小限の実験数で各要因の効果値を把握することが可能である。今回設定したモデル流域では、直交配列表によって設定される実験ケース数Cは表4.5.2のように8ケースとなる。直交配列表においては、主効果ならびに交互作用は第1～5列に配置されており、第6、7列には誤差項が配置されていることが分る。

これらの8ケースにおいて、二次元不定流モデルにより氾濫解析を行い、その結果より得られる氾濫ブロックBの湛水量を表4.5.3に示すように分散分析

表4.5.2 直交配列表への割付

要 因	築堤区間 ①	掘削区間 ④	築堤①と 掘削④の 交互作用	築堤区間 ②	築堤区間 ③	誤差	誤差	実 験 結 果
列 番	1	2	3	4	5	6	7	
実 験 番 号	1	1	1	1	1	1	1	V_1
	2	1	1	2	2	2	2	V_2
	3	1	2	1	1	2	2	V_3
	4	1	2	2	2	1	1	V_4
	5	2	1	2	1	1	2	V_5
	6	2	1	2	2	2	1	V_6
	7	2	2	1	1	2	1	V_7
	8	2	2	1	2	1	2	V_8

すれば、平均湛水量 V_B^0

- ・ 表中の数字は表4.5.1の水準に対応する。
- ・ V_i は実験番号*i*における氾濫ブロックBの湛水量

築堤①, ②, ③掘削

④の主効果 α , β , γ , λ ならびに築堤①と掘削④の交互作用効果 $\alpha\lambda$ がそれぞれ求まる。以下に、その内容を説明する。

まず、平均湛水量 V_B^0 は、全実験値の平均として次式より求まる。

$$V_B^0 = \sum_{i=1}^C V_i / C \quad (4.53)$$

表4.5.3 分散分析表

要因	① 差 d_n	② 効果 a_n	③ 自由度 f_1	④ 変動 S_n	⑤ 分散 σ^2	⑥ F 値 F_n	⑦ 純変動 S_n^*	⑧ 寄与率 ρ_n
n	$\sum_{i=1}^C (-1)^{x_i^n + 1} \cdot V_i$	① / C	f_n	④ / C	④ / ③	⑤ / σ_e^2	④ - σ_e^2	④ / $\sum_{i=1}^C S_i$

C : 実験ケース数

 σ_e : 誤差分散

ところで直交配列表の第 n 列 ($n = 1, 2, \dots, 7$) の第 1 水準での実験の湛水量の和と第 2 水準での実験の湛水量の和との差 d_n は、

$$d_n = \sum_{i=1}^C (-1)^{x_i^n + 1} \cdot V_i \quad (4.54)$$

X_i^n : 直交配列表 i 行 n 列の水準値で 1 または 2

V_i : 実験ケース i における氾濫ブロック湛水量

と表される。すると第 n 列に配置された要因の効果 a_n ($a_1 = \alpha$, $a_2 = \lambda$, $a_3 = \alpha \lambda$, $a_4 = \beta$, $a_5 = \gamma$) ならびに変動 S_n は

$$a_n = d_n / C \quad (n = 1, 2, \dots, 5) \quad (4.55)$$

$$S_n = d_n^2 / C \quad (n = 1, 2, \dots, 7) \quad (4.56)$$

として求まる。さらに、ここで適用している 2 水準直交配列表においては、1 列に対して自由度は 1 となるため、次式に示す各列の F 値 F_n ($n = 1, 2, \dots, 5$) と自由度 (f_1, f_2) (f_1 : 要因の自由度 1, f_2 : 誤差の自由度 2) から F 検定を行うことにより、各要因のもつ有意性を調べることができる。すなわち、各列の分散は、

$$\sigma_n^2 = S_n / f_1 \quad (4.57.1)$$

$$\sigma_e^2 = (S_6 + S_7) / f_2 \quad (4.57.2)$$

であり、F 値は

$$F_n = \sigma_n^2 / \sigma_e^2 \quad (4.58)$$

として求まる。

また、第 n 列の変動 S_n から誤差分散 σ_e^2 を差し引いた純変動 S_n^* と全変動 $\sum_{i=1}^C S_i$ との比を調べることで、各要因の寄与率 ρ_n を求めることができる。

$$S_n^* = S_n - \sigma_e^2 \quad (4.59)$$

$$\rho_n = S_n^* / \sum_{i=1}^C S_i \quad (4.60)$$

以上の内容は特定の洪水規模 Q を想定したものであるが、 Q を変化させる必要がある場合（例えば氾濫ブロックの被害を確率評価する場合）には、 Q そのものを要因として直交配列表に取り入れて分析するか、あるいは洪水規模毎に上記の分析を繰り返し、各要因の効果を Q の関数として求めることも可能である。

第6節 結言

本章は、第3章の方法論により治水計画の中間目標が設定された場合、その中間目標を計画期間の間において社会的にも経済的にも最も望ましい状態のもとで具体化していくための方法論、すなわち、治水事業の段階的施工計画の最適化システムを開発してきた。本文で得られた成果は以下の通りである。

- ① まず、治水事業の段階的施工計画の評価について、「効率の最大化」及び「公平化」と云う2つの概念を提起し、それぞれの概念をモデル化してきた。また、第3章の治水計画の中間目標の設定と同様にこれら2つの評価の概念は独立的に取り扱われるのではなく、両者の調和を図ることに計画の意義があることを指摘し、その方法論として多目的評価関数を導入することの必要性を説いた。そして、それぞれの評価の視点から具体的な評価指標を抽出し、その定式化を行った。
- ② 上記した評価の視点から段階的施工計画を最適化していくためには、事業の進捗に伴う洪水氾濫現象の変化を明らかにすることが必要となる。洪水氾濫現象を解析するモデルとしては、本来2次元不定流モデルによる以外に方法はないが、同モデルの計算に要する時間や費用などを鑑みると、最適化システムに同モデルを直接内装することは、現実的に不可能であることを考えた。そこで、本論では、貯留関数法をベースとした簡便法ならびに2次元不定流モデルをベースとした実験計画法による湛水量予測モデルを開発した。

その中で、貯留関数法については流下率の概念を導入することにより本論の最適化システムへの適用が比較的簡便であるが、一方、その適用可能流域は限定されることを指摘した。次に、2次元不定流モデルの場合には、まず予備的解析を行い、その結果を利用して事業の進捗と氾濫ブロックの湛水量の関係を実験計画法によりモデル化し、最適化システムに組み入れることの有利性を述べた。

- ③ 以上の検討を踏まえ、段階的施工計画の最適化システムをD・P理論を適用することによってモデル化した。本論で開発した最適化システムは、段階的施工計画に関する以下のような有効な情報を提供することが可能となる。
- イ) 評価指標が設定された場合、その評価を最大にする段階的施工計画案を定量的・客観的に作成することが可能となる。
 - ロ) その場合、評価の指標は単一的なものから幾つかの評価指標を同時に取り扱って多目的な段階的施工計画案を作成することが可能となる。
 - ハ) 最適化システムにおいては、上下流・左右岸問題を制約条件として取り入れることにより、より現実的な段階的施工計画案を作成することが可能となる。
- ニ) また、本最適化システムは、全期最適化、各期最適化という2つの評価の考えかたのどちらにも適用することが可能である。

参考文献

- 1) Warfield, J. N.; Structuring Complex Systems, 1974
- 2) 尾形克彦・ダイナミックプログラミング, 培風館, 1973
- 3) 鍋島一郎; 動的計画法, 森北出版, 1968
- 4) 宇野利雄, 菊地豊彦; 最大原理入門, 共立全書, 1968
- 5) 2)に同じ
- 6) 3)に同じ
- 7) 4)に同じ
- 8) 3)に同じ
- 9) Sorensen, K. E. and Jackson, R. D.; Economic Planning for Staged Development, Proceedings of ASCE, Vol. 94, No. HY5, 1968
- 10) 高棹, 池淵, 小尻; 水量制御から見たダム群のシステム設計に関するD P 論的研究, 土木学会論文報告集, 第241 号, 1975
- 11) 高速道路調査会; 高速道路の段階建設計画に関する基礎的研究, 高速道路と自動車, Vol. X II, No.3, No.4, 1969
- 12) 長尾, 高田, 箕田; 段階的港湾投資計画に関する基礎的研究, 土木学会第26回年次学術講演会講演概要, 第4 部, 1971
- 13) 江藤, 室田, 水野; 段階的治水計画について, 第25回水理講演会論文集, 1981
- 14) 稲田裕; 貯水池群による淀川水系の最適洪水調節に関する研究, 1976
- 15) 池淵, 小尻, 湯山; 遊水池を含む総合的な治水計画の策定手順, 土木学会第34回年次学術講演会講演概要II, 1979
- 16) Y. K. Tung, and L. W. Mays,; Optimal Risk Based Design of Flood Levee System, Water Resources Research, Vol. 17, No. 4, 1981
- 17) 志水清孝; システム最適化理論, コロナ社, 1976
- 18) 17) に同じ
- 19) 西原巧; 氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究, 1982

- 20) 14) に同じ
- 21) 岩佐, 井上, 水鳥; 氾濫水の水利の数値解析法, 京都大学防災研究所年報, 第23号, 1980
- 22) 田口玄一; 実験計画法, 丸善, 1976
- 23) 岸田隆, 島田健一; 段階的施工計画のための湛水量予測モデルの開発, 水利科学No.161 第28巻第6号(投稿), 1985

第5章 段階的施工計画最適化システムの現地河川への適用

第1節 概説

本章では、第4章で提案した段階的施工計画の最適化システムを現地河川に適用し本論で開発したシステムモデルの持つ有効性を検証するものである。

由良川は、図5.1.1に示すように、京都府北桑田郡美山町で滋賀県、福井県との県境をなす三国ヶ岳（959.0 m）を水源とし京都府と兵庫県にまたがる一級水系である。その流域面積は1,880 km²、幹線流路延長は146 kmで、うち、建設大臣管理区間は幹線54.1kmおよび土師川の 2.8kmである。

水源より、大野川となって山間部を西に流れ、高屋川と合流して由良川となる。綾部市で福知山盆地の平坦部に流れだし、西流を続け、福知山市内に入って流路を変え、北流し、幅 300～500 m の狭長な谷底平野を流れて、由良で若狭湾に入る。地相は、山地が1,672 km²、平地が208 km²ときわめて平坦地の少ない流域といえる。

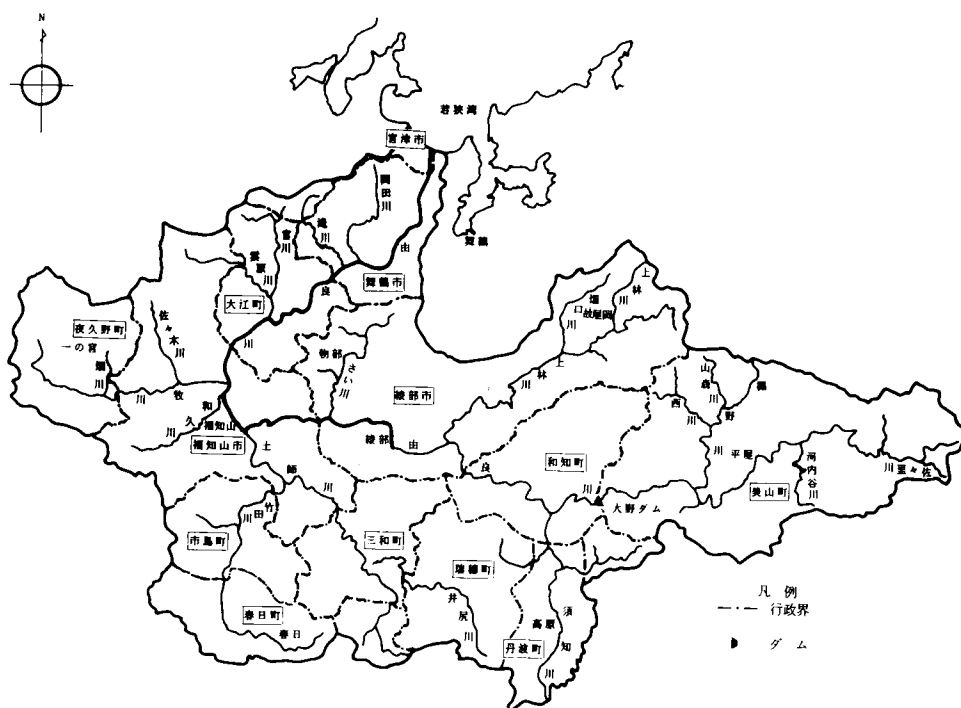


図5.1.1 由良川流域の概要

第2節 由良川流域の概要

2-1. 流域の水理水文特性

流域は丹波・丹後の山系に囲まれ、わずかに、流域の北西部が日本海に面しており、裏日本型気候の特色を示している。

流域の年降水量は平均1,500～2,300 mm程度であり、上流域は多雨域に属し、1,900～2,700 mmを記録している。中流部の盆地及び土師川流域の年降水量は少なく1,400～2,000mm程度で、一般に東・北に多く南・西は少なくなっている。

流域内の月降水量分布は、図5.2.1に示すとおりであり、6月から10月までの降水量の月別特性は次のとおりである。

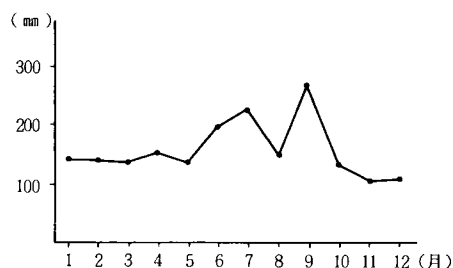


図5.2.1 降雨量の月別特性

6月：中旬より入梅するため、前月に比べて雨量が多くなる。

7月：梅雨が中旬まで続き、また、ときには台風が発生するため、雨量は多い。

8月：梅雨期と台風シーズンの間に当り、降雨量は7月の66%に減少している。

9月から10月：台風シーズンでもあり、年間では最も雨量が多い。

このような降水特性を反映して、由良川本川（福知山地点）の年間平均流量は $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であるが、月平均流量についてみると、図5.2.2に示すように、季節的に顕著な変動を示す。すなわち、11月～翌年1月は雨量が少ないため、流量は少なく、2～4月は融雪のため多くなり、6～7月は梅雨前線により、また9～

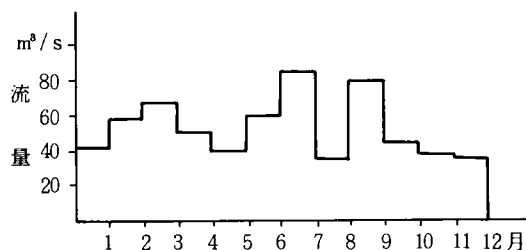


図5.2.2 河道流量の月別特性

10月は台風により多くなっている。

表5.2.1 洪水比流量

由良川の高水状況は昭和28年13号台風時に福知山で $6,500\text{m}^3/\text{sec}$ を記録し、洪水比流量は表5.2.1に示すように近畿においては紀の川、新宮川について大きい。

河川名(観測所)	比流量 $\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}$		観測年
	最 大	年平均	
淀川(枚方)	109.46	3.90	S27~S57
猪名川(軍行橋)	424.50	2.82	S30~S57
加古川(国包)	172.22	2.78	S33~S57
揖保川(上川原)	469.43	2.95	S48~S57
九頭竜川(中角)	365.63	9.34	S27~S57
由良川(福知山)	483.52	3.81	S28~S57
円山川(府市場)	294.76	3.96	S43~S57
新宮川(相賀)	799.64	7.15	S26~S57
紀の川(妹背)	1,462.80	5.04	S47~S57
大和川(坂東)	219.58	3.50	S55~S57

S44. 46欠

S30. 31. 32. 34. 35.
S36. 37. 39. 43. 44.
S45. 46欠

S34. 49欠

S49. 55欠

(昭和57年流量年表より)

2-2. 流域の社会経済的特性

由良川流域を構成する市町村は、福知山市、舞鶴市、綾部市、大江町、和知町、宮津市、三和町、瑞穂町、丹波町、美山町、夜久野町、市島町、春日町の13市町であるが、表

5.2.2に示すように

表5.2.2 流域関連市町の面積と人口

(昭和55年10月現在)

福知山市、舞鶴市、綾部市および宮津市に当流域の人口が比較的高密度に集積しており、全体の約8割を占めている。また流域内市町はいずれも、昭和30年頃を境に人口の減少傾向を呈しているが、近年、舞鶴市、福知山市、および丹波町が昭和30年当時の状況に回復する兆しを見せている。

市町	諸元	行政区域面積 (km^2)	総人口 (人)	人口密度 (人/ km^2)
福 知 山 市		264.43	63,788	241.2
舞 鶴 市		340.95	97,578	286.2
綾 部 市		348.49	42,552	122.1
宮 津 市		169.76	28,881	170.1
大 江 町		96.46	6,520	67.6
和 知 町		119.79	5,348	44.6
三 和 町		90.30	5,031	55.7
瑞 穂 町		110.02	5,906	53.7
丹 波 町		74.28	8,423	113.4
美 山 町		339.81	5,931	17.5
夜 久 野 町		101.55	6,059	59.7
市 島 町		76.79	10,059	131.0
春 日 町		76.80	13,154	171.3
合 計		2,209.43	299,230	135.4

流域は、土地、水などの資源とともに名勝、歴史的遺産に恵まれており、また農林水産業や丹後機業等の地場産業の集積が見られるなど、京都府延いては近畿圏の商工業、港湾流通、観光、レクリエーション機能を担うものとして位置づけられている。このため、図5.2.3に示すように、近年、長田野工業団地、重要港湾舞鶴港などの整備、近畿自動車道舞鶴線の建設や国鉄山陰本線の電化、宮福線の整備が具体化しつつあり、新しい発展の可能性が高まりつつある。

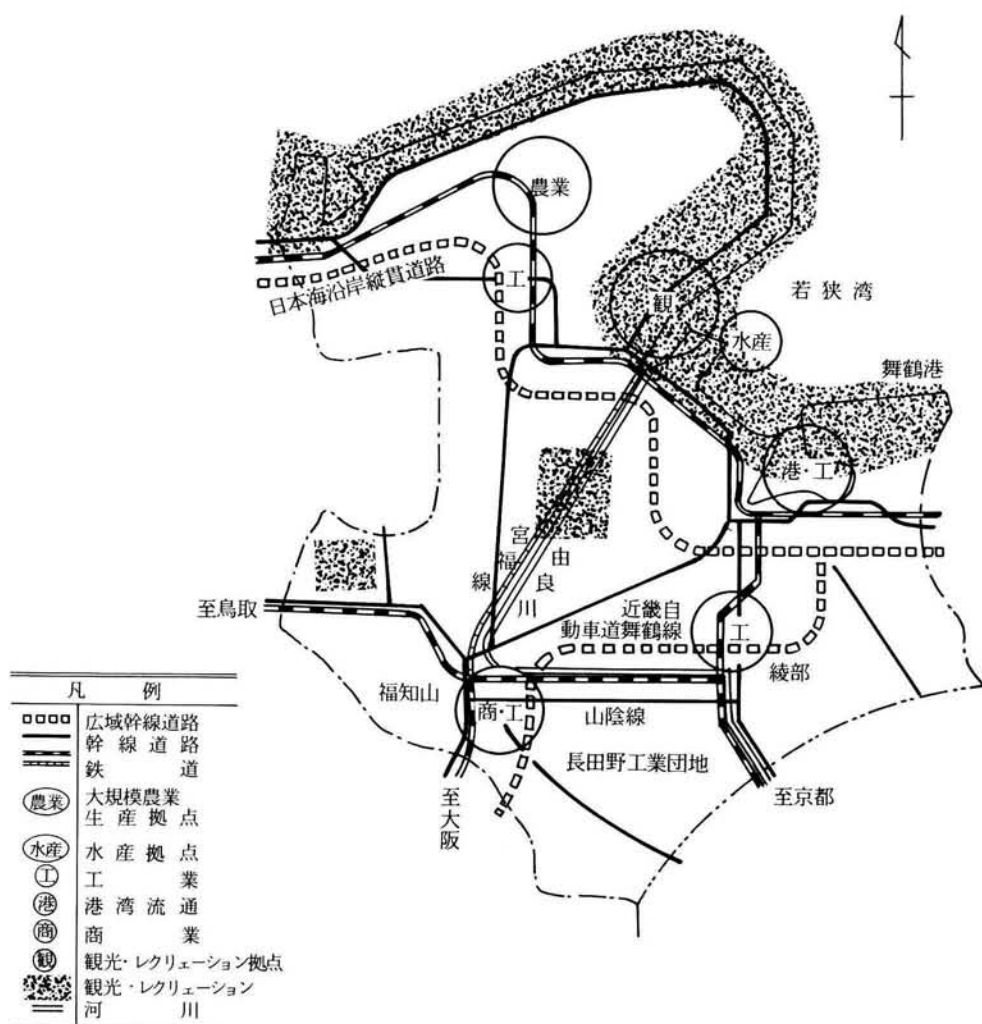


図5.2.3 京都府北部地域の機能配置構想

2-3. 由良川治水の歴史的変遷

由良川の水害の歴史は古く、寛文6年（1666年）の水害より今日に至るまで数多くの記録が残されている。明治・大正期には4回以上の大洪水に見舞われ、昭和期では28年13号台風、34年伊勢湾台風による水害が記憶に新しい。13号台風では福知山地点で最高水位20.2m、ピーク流量6,500m³/sに達したと記録されている¹⁾。

昭和20年～53年までの

表5.2.3 洪水の起因別、降雨規模別発生回数

34年間に由良川で発生した洪水は表5.2.3に示すように²⁾、39例が6～10

月に発生しており、これらの月が水害の危険率の高いことを物語っている

このうち、梅雨前線によるものが16洪水、台風

月	6		7		8	9		10		計
気象原因 雨量	梅雨 前線	台風	梅雨 前線	雷雨	台風	台風	低 気圧	秋雨 前線	台風	秋雨 前線
～ 100	3			2		1				1
101 ～ 150	4	2	6	1		3				
151 ～ 200	1				1	1		1	2	1
201 ～ 250	1		1			1	3		1	1
251 ～						1				
計	9	2	7	3	1	2	8	1	2	2

によるものが15洪水であ

注) 雨量は流域平均二日雨量（福知山流域）

り、これら両者に起因する洪水は全体の8割を占めている。しかし、その降雨規模についてみると、梅雨前線は101～150mmの降雨をもたらす場合が最も多いのに対し、台風は101～250mmの降雨をもたらしている。

一方、由良川治理工事の歴史は、古くは天政8年（1580年）の築堤工事を記録³⁾にとどめるが、近代的な改修工法が導入されたのは、明治28年オランダ技師のヨハネス・デレーケの指導による。昭和22年には、それまで京都府によって部分的改修が進められていた由良川も建設省直轄河川として指定され、初めて本格的改修に着手された。直轄工事の開始とともに、まず福知山市街地の洪水防禦を主眼として、和久市堤防、猪崎溢流堤の完成及び庵我堤防の伸長、土師川左岸（市街地側）、同じく右岸の工事が進められ今日に至っている。

由良川の計画高水流量は、当初、昭和20年10月洪水をもとに福知山地点で4,100m³/sとして策定されたが、昭和28年13号台風（罹災者数：6,467人、死者：

7 人、住宅全壊、流失：587 戸、田畑の埋没、冠水：71,156ha、道路決潰：172ヶ所、橋梁流失：63ヶ所、堤防決潰：110ヶ所) を契機として、本川上流の大野ダム建設が新たに計画に取り入れられ、図5.2.4に示すように福知山地点の基本高水のピーク

流量を $6,500 \text{ m}^3/\text{s}$ (計画高水流量 $5,600 \text{ m}^3/\text{s}$)

として現計画に改定された。

大野ダムは昭和36年に竣工しており、現在は河道の低水路掘削ならびに築堤護岸が鋭意進められている。

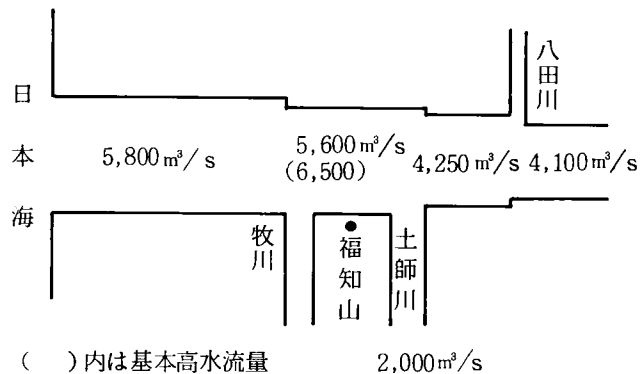


図5.2.4 計画高水流量配分

2-4. 由良川の治水現況

現在、由良川では、由良川水系工事実施基本計画に基づいて、河道改修が進められつつあるが、その内容は概ね図5.2.5に示す通りである。由良川流域の概要を次にまとめる。

- ① 福知山市から河口に至る本川下流部は、地形的には山地がせまっており、最下流の舞鶴市を除けば、山間に集落が点在するような土地利用となっている。このため、当流域の改修方式として連続堤によることは現実的ではない。そこで、特に人家密集地には築堤護岸を施工するものとし、基本的には低水路の掘削・拡幅を中心とした方法がとられている。河道掘削、狭窄部の拡幅などによってすでに $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 河道（低水路部）が確保されつつある。
- ② 綾部市、福知山市間の本川中流部は、狭窄部が一部見られるものの比較的まとまった氾濫区域を形成している。現在、綾部地点 $4,100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、福知山地点 $5,600 \text{ m}^3/\text{s}$ の計画高水流量に対応した築堤ならびに低水路掘削の計画が策定さ

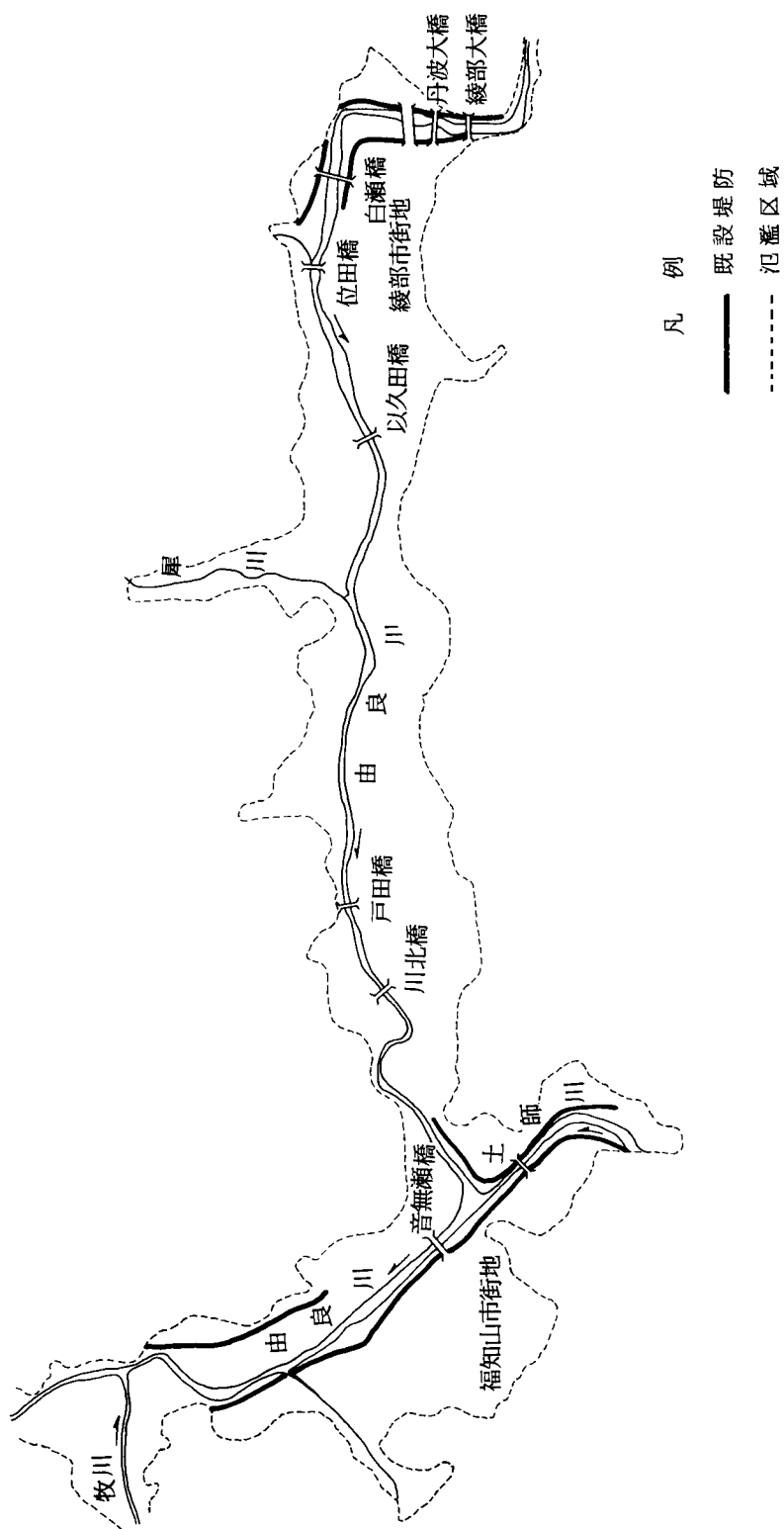


図5.2.5 由良川中流部改修現況

れており、着々と改修が進められている。すでに福知山市および綾部市の市街地を守る堤防は概成しているが、この両市街地に挟まれた開発ポテンシャルの高い区間において、依然として無堤あるいは自然堤防区間が見られる。そのため、近年においてもしばしば洪水被害が発生するなど、地域の発展を考えると、改修が急がれるところである。

- ③ 綾部53.1kmから上流部は指定区間（知事管理区間）であり、また現状においても中、下流部ほどの資産集積は見られない。当該流域は、京都府の林業育成地域として今後も発展していくものと考えられる。このため、当流域では保安林整備計画の進捗とともに治山施設の整備が望まれている。

以上、由良川の治水現況について概観してきたが、

- ① 本川中流部は、氾濫現象が非常に複雑であり、左右岸あるいは上下流問題など段階的施工計画において検討すべき課題が残されている。また、同地域では現在定住圏構想のもとに、都市整備が進められつつあり、治水事業においても、これに対して何らかの対応が迫られているのが現状である。
- ② 一方、本川上流部は指定区間であり、また上述したような観点からも、本論で提起する左右岸問題、上下流問題ひいては複雑な氾濫現象を呈しているわけではなく、従来の経験的な改修方法で対応可能であると考ええる。また本川下流部は河道掘削が中心であり、当面の改修の進め方は既に明らかにされている。

の2点を考慮し、本章のテーマである段階的施工計画の検討対象区間としては中流部の綾部～福知山間が適しており、この区間に主眼を置き、次節以降において解析を進めていくものとする。

第3節 由良川中流部における段階的施工計画の最適化システムの設計

由良川中流部は33kmから54kmに至る直轄区間（建設大臣管理区間）を指しており、流域には福知山市を始め綾部市が含まれるなど比較的都市機能の集積が見られる地域である。同区間では左右岸ともに築堤計画が策定されており、現在その完成に向けて改修が進められつつある。本川34km～39km左岸、50km～53

km左右岸ならびに土師川 0.～2 km区間で築堤が概成しており、福知山市あるいは綾部市の洪水防禦に多大な効果を挙げている。とはいえ、今なお無堤区間が残されているなど当地域の振興を考えると改修が急がれる。

なお、由良川の望ましい工事实施基本計画の計画規模は全国的なバランスから年超過確率で1/100 と決定されているが、現在の工事实施基本計画の計画規模は現時点で評価すると1/30と低い。したがって、当該流域においては、工事实施基本計画の完成までに中間目標を設定することは、この地域が洪水災害の常襲地域で度重なる災害を受けていること、さらには、規模の経済性からかなりの不経済性が経験的に明らかなこと等から得策とはいえない。そこで、本論では現工事实施基本計画を最終目標とし、その目標に向けての段階的施工計画の最適化システムを構築する。

3－1. 改修区間の分割と氾濫ブロックの設定

(1) 改修区間の分割

改修区間を分割する場合に考慮すべき事項として、次の諸点が挙げられる。

- ① 計画高水流量の変化点（支川分合流点）
- ② 現況河道整備水準の変化点
- ③ 橋梁、樋門、樋管などの設置箇所
- ④ 山付堤のように堤防が不連続となる箇所

これらを勘案すると由良川中流部の改修区間は図 5.3.1 に示すように、左岸 4箇所、右岸 5 箇所が選定される。すなわち、

左岸：綾部築堤部下流端50km（河口からの距離）～以久田橋47.3km～犀川合流点45.5km～戸田橋41.8km～愛宕樋管39km（4 区間）

右岸：綾部築堤部下流端50km～以久田橋47.3km～犀川合流点45.5km～戸田橋41.8km～猪崎揚水機場39km～中村樋門35.7km（5 区間）

である。もっとも段階的施工計画を検討していく場合には、このような施工上の視点の他に、

- ① 破堤時の氾濫水理特性

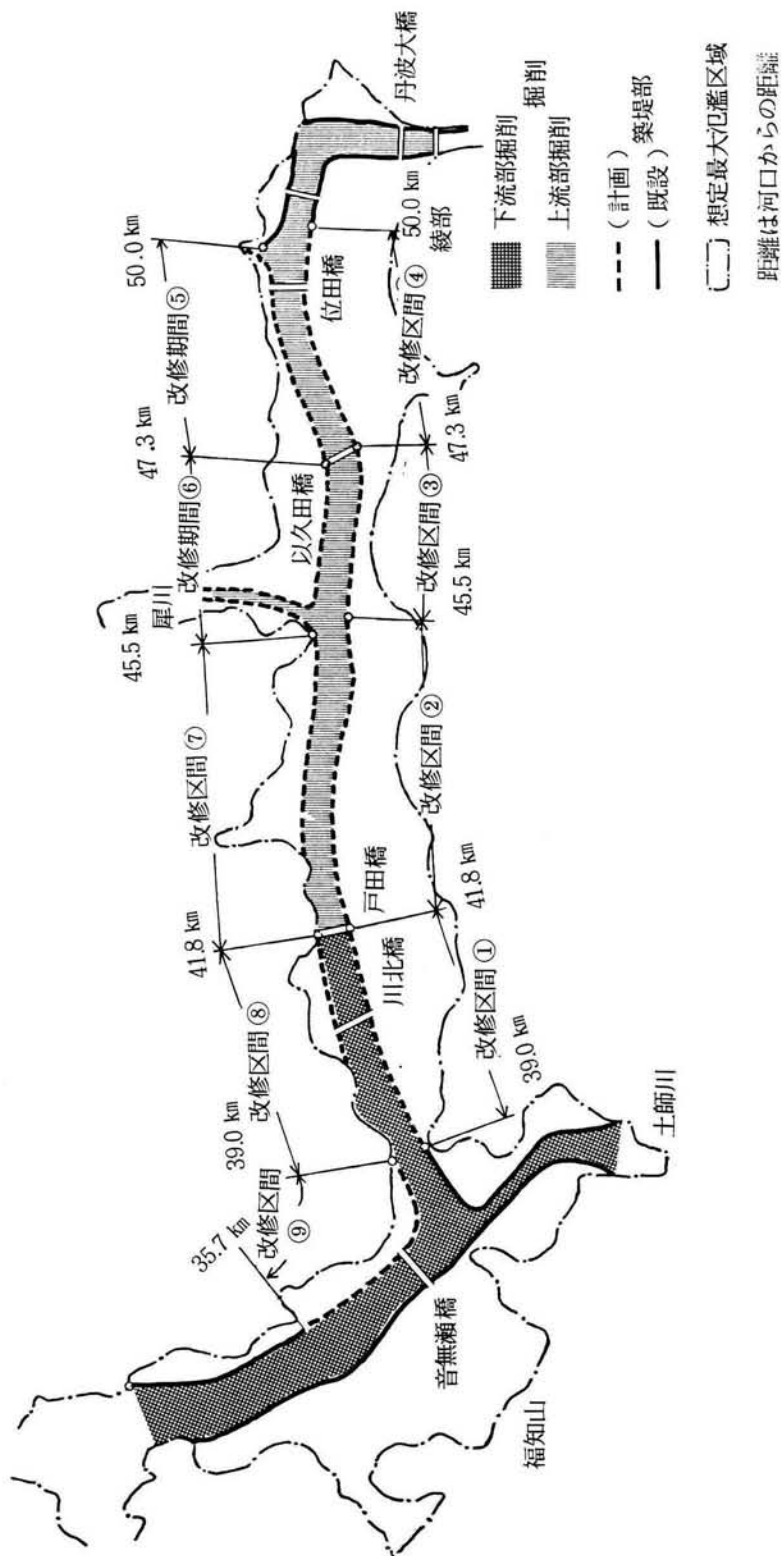


図5.3.1 由良川中流部改修区間の分割

表5.3.1 改修区間別事業費

	改 修 区 間									掘 削		全改修 区 間 合 計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	下流部	上流部	
用買費	10.5	37.6	8.3	5.6	4.5	39.9	9.9	6.9	20.5	27.8	12.5	184.0
工事費	22.2	22.7	16.5	15.4	27.1	23.0	19.7	13.9	21.6	35.4	84.0	301.5
区 間 合 計	32.7	60.3	24.8	21.0	31.6	62.9	29.6	20.8	42.1	63.2	96.5	485.5

単位：億円

② 氾濫区域の保全対象の分布状況

なども合わせて考慮する必要がある。すなわち右岸は地形的にも氾濫区域が独立しており、堤防も山付堤となるため、上述のように、これを単位とした改修区間の分割も可能であるが、左岸については高津、戸田、前田などは一体的な氾濫区域を形成しており、一連区間として取り扱うのが本来的であり、部分的な改修ではその効果を明確に把握することは困難である。しかしながら、この一連区間を短期間に完成することは、現状の予算規模からみて不可能と云え、また、この一連区間をどのような順序で改修していくかが、当流域の改修上の大きな懸案課題と言える。

一方、各区間の改修工法は築堤を前提とするが、河道掘削もあわせて計画されているため、段階的施工計画の最適化システムには図5.3.1に示したように9箇所の築堤と2箇所の掘削工事の合わせて11の事業ブロックを取り上げることとした。なお、各改修区間の改修事業費は表5.3.1に示すとおりである。

(2) 氾濫区域の分割

氾濫区域を分割する場合には、行政界あるいは地形的制約のもとで1つのまとまった地域的活動が形成されると判断できるブロックを基本単位として構成する必要がある。ここではそのような視点から、図5.3.2に示すように氾濫区域を11のブロックに分割する。すなわち、綾部市域を綾部、高津、位田、栗お

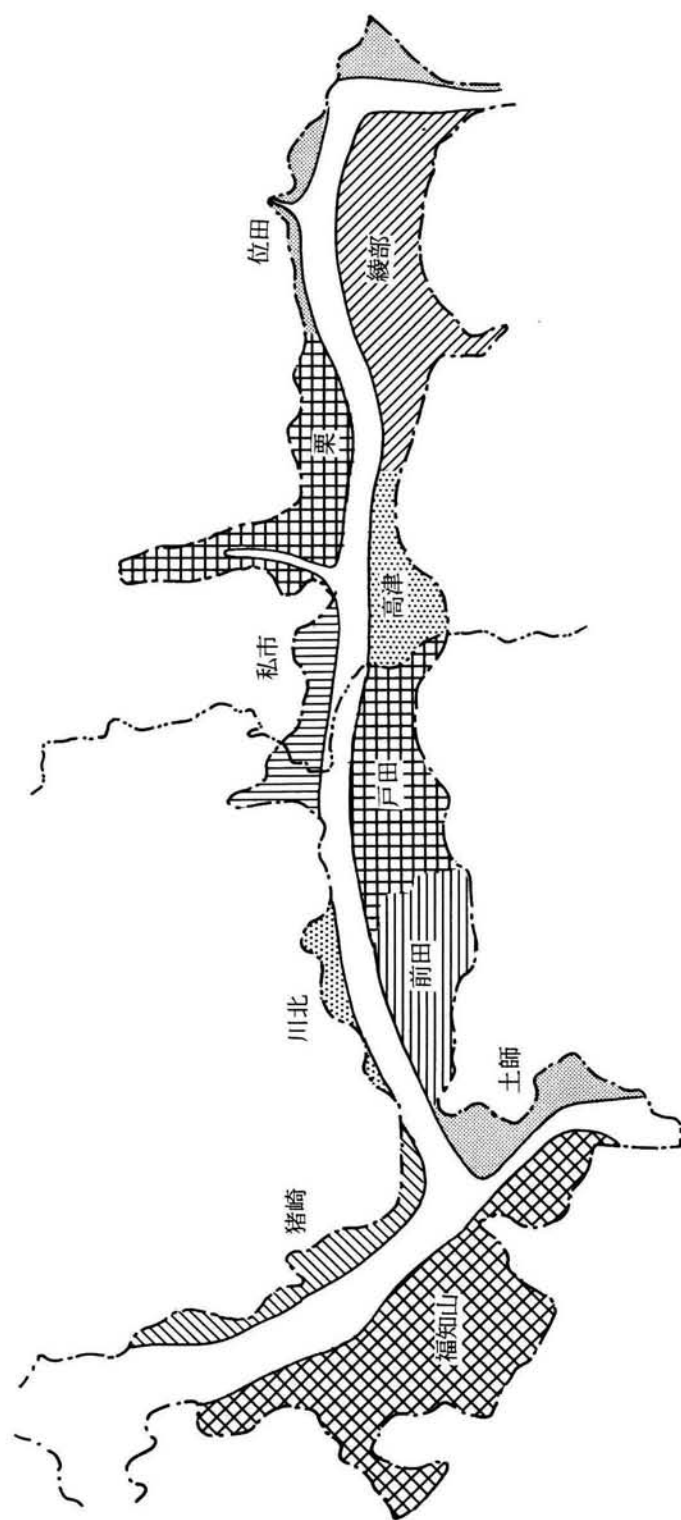


図5.3.2 由良川中流部の氾濫区域の分割

よび私市のあわせて5ブロックとし、また、福知山市域を福知山、戸田、前田、川北、猪崎、土師の6ブロックに分割する。

表5.3.2 氾濫ブロックの資産分布状況

	土 師	前 田	戸 田	高 津	綾 部	位 田	栗	私 市	川 北	猪 崎	福知山	合 計
家 屋 家 財	30.39	18.89	90.40	29.82	328.26	43.15	83.19	10.54	5.02	57.84	582.17	1,279.67
農 家 農作物	1.66	2.70	7.20	2.57	5.27	2.28	6.79	1.41	0.41	3.93	6.02	40.24
事業所	6.81	1.60	8.81	0.00	172.79	7.04	10.28	1.19	0.20	9.42	402.48	620.62
合 計	38.86	23.19	106.41	32.39	506.32	52.47	100.26	13.14	5.63	71.19	990.67	1,940.53

単位：億円

表5.3.3 氾濫ブロックの家屋、農家、事業所分布状況

	土 師	前 田	戸 田	高 津	綾 部	位 田	栗	私 市	川 北	猪 崎	福知山	合 計
世帯数	210	65	393	165	3,151	287	402	39	19	304	4,973	10,008
農家数	58	57	262	84	194	98	234	29	15	130	198	1,359
事業所数	44	8	44	0	908	37	54	6	1	47	2,009	3,158
合 計	312	130	699	249	4,253	422	690	74	35	481	7,180	14,525

なお、上記11ブロックの各々の内部においても、地盤高さにかなりの高低差が見られ、たとえ同一ブロック内であっても、地点によって氾濫水の挙動、湛水深の分布も相当変化すると考えられる。したがって河道改修に伴う各地区の被害軽減効果を評価する場合には、この点を考慮した方法を考える必要がある。そのため、これら11ブロックを地盤高がほぼ一様とみなせる小ブロックに細分

割し、この小ブロックに対して洪水氾濫に伴う被害を計測する。さらにこの結果を11ブロックに集計することによって、分析の精度を向上させる。

なお、表5.3.2および表5.3.3に各氾濫ブロックの資産および家屋等を示した。

3-2. 洪水氾濫現象モデル

検討対象とする由良川中流部は、有堤区間と無堤区間が混在している。したがって、堤内地と堤外地との区別が必ずしも明確ではない箇所が随所に見受けられる。このような流域を対象とした段階的施工計画の最適化システムで用いる氾濫現象モデルは、堤内地と堤外地を一体とした二次元不定流モデルを適用することにする。

ところで、最適化システムに二次元不定流モデルを直接的に内装する、いわゆるハイブリッドな方法として導入することは、システム演算に非常に多大な時間と経費を必要とし現実的でない。そこで、第4章でも指摘してきたように、二次元不定流モデルにより当該流域の改修に伴う洪水氾濫形態の変化に関する予備的検討を実施し、その結果をもとに、実験計画法を用いた湛水量モデルを作成することとする。

(1) 改修による洪水氾濫形態の変化に関する予備的検討

前項で設定した11事業ブロックをどのように段階的に施工するかについて、最適化システムにより解析を行うが、それに先立って、改修による洪水氾濫現象の変化を二次元不定流モデルにより検討する。

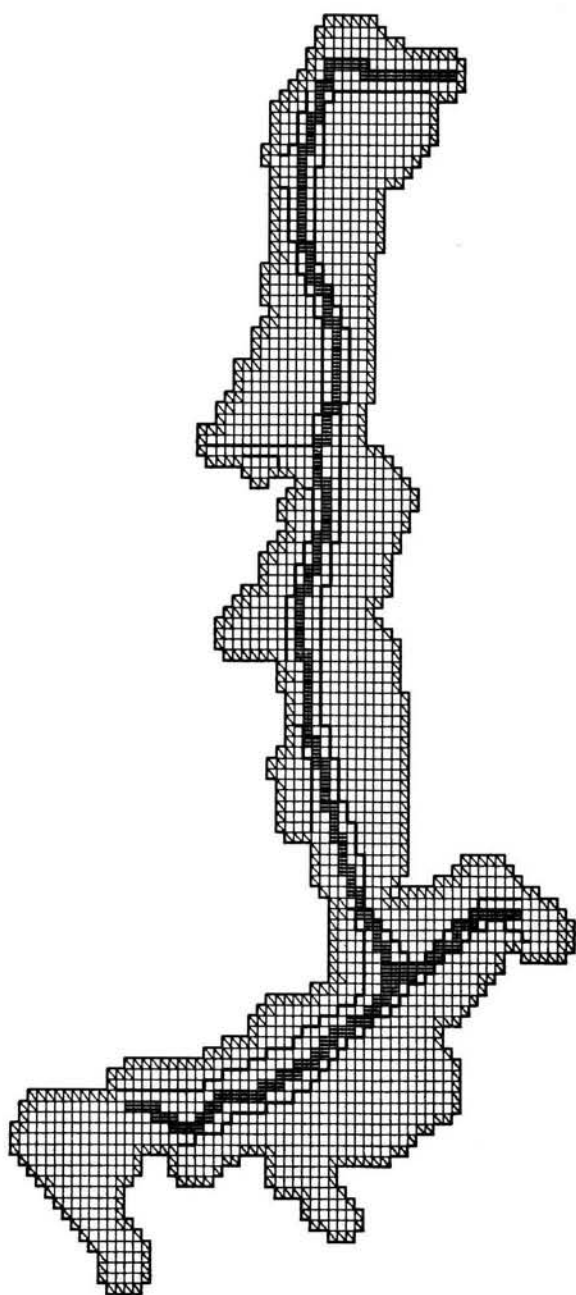
① 解析の条件

イ) 堤内地の分割と地盤高

対象とする地域を図5.3.3のように格子状に分割する。格子の大きさは $\Delta x = 142.5 \text{ m}$ 、 $\Delta y = 116.6 \text{ m}$ である。これは、河道幅等を考慮して設定したもので、国土地理院の1/8 地域メッシュに相当する。

ロ) 境界条件

河道の上流端に相当する境界格子に、流量ハイドログラフを、また、下流端の条件として河道の下流端断面に相当する格子に図5.3.4に示すような水位流



- 凡 例
- ▨ 境界格子
 - 計画完了時の堤防
 - ▨ 計画完了時の河道掘削

図5.3.3 由良川中流部の格子分割

量曲線（H－Q曲線）を与えた。このH－Q曲線は、由良川32.0kmの地点で不等流計算によって求められたものである。

ハ) 堤防や道路・鉄軌道など線状構造物の取扱い

堤防、道路・鉄軌道など氾濫水の挙動に影響を与える線状構造物については高さのみをもち、幅を持たない格子とみなし、一般格子の周囲に沿って配置した。

ニ) 初期条件

定常流量を上流端（由良川53km、土師川 2.5km、犀川）に与え、対象地域流入量の合計と下流端流出量が一致した時点での流量フラックス、水位をもって初期値とした。

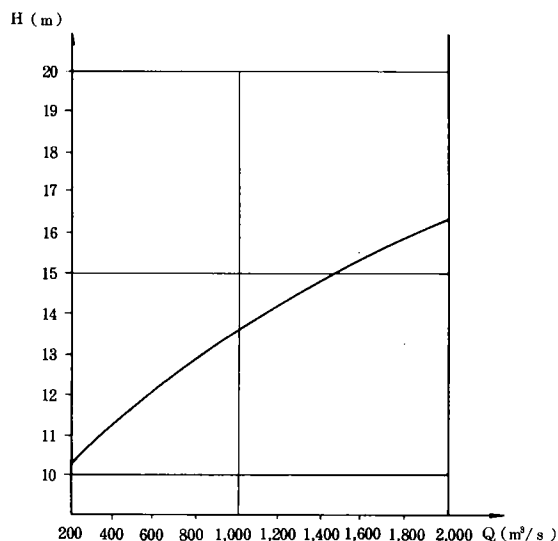


図5.3.4 下流端H～Q曲線

ホ) 粗度係数

地域全域にわたって $n = 0.035$ を与えることにした。

② 改修の進め方による洪水氾濫形態の変化

ここでは、後述の最適化計算に適用する洪水規模の中から、福知山流量 $4,800\text{m}^3/\text{s}$ 、 $8,100\text{m}^3/\text{s}$ の場合を対象として、由良川中流部の改修の進め方による洪水氾濫形態の変化について考察する。

イ) $4,800\text{m}^3/\text{s}$ を対象とした場合

図5.3.5(1)～(9)に検討結果である氾濫状況を示した。図5.3.5(1)は現況河道における洪水氾濫状況を示している。福知山市街部あるいは綾部市街部では堤防が概成しているため氾濫は見られないが、他の地域ではほぼ全域にわたって湛水している。

猪崎、栗、私市ならびに川北ブロックでは河道から越水した氾濫水が堤内地に流れ込み、その後再び河道にもどっていく状況が見られる。一方、左岸戸田、前田ブロックでは、右岸のように、ブロック毎に湛水貯留するといっ

た氾濫挙動は見られず、越水した氾濫水がそのまま堤内地を流下し、当該ブロック下流端39km付近で河道にもどるという流下拡散型の氾濫形態となる。

凡 例

→ 50m²/s (流量フラックス)

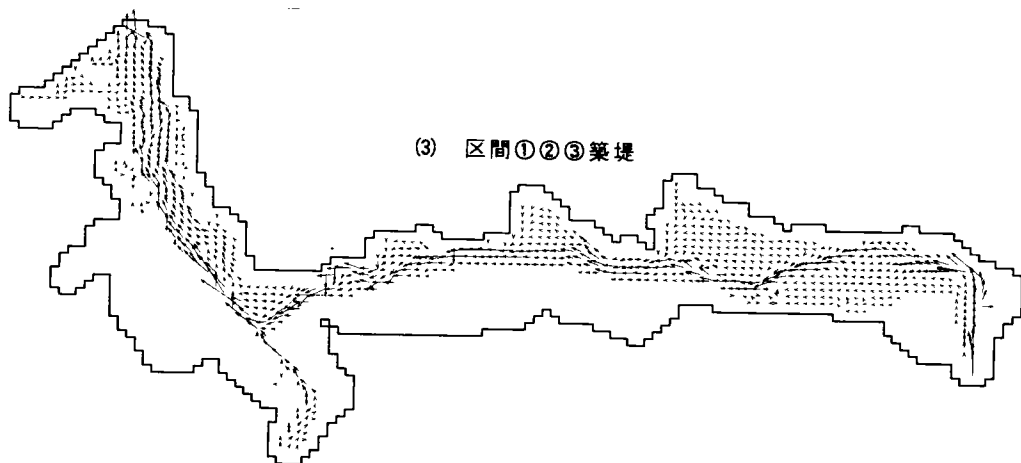
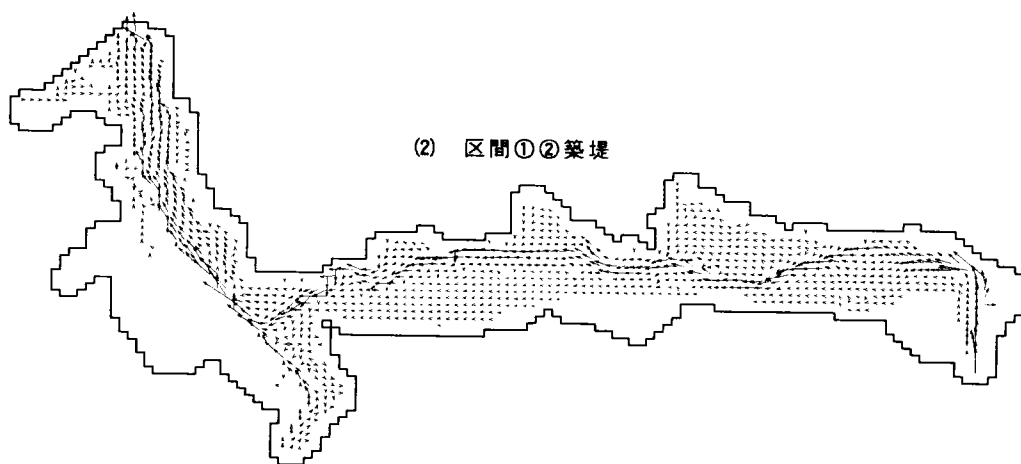
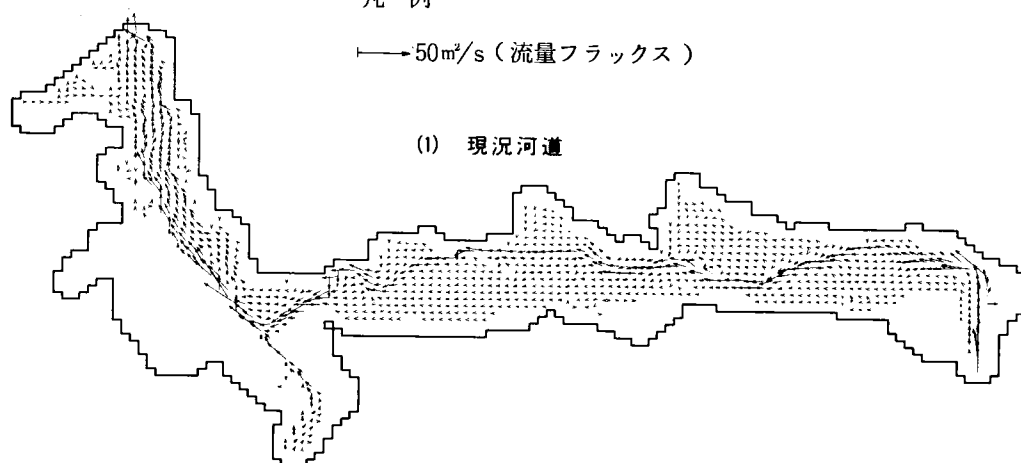


図 5.3.5 氾濫形態(流量規模 4,800m³/s)

凡 例

→ $50\text{m}^2/\text{s}$ (流量フラックス)

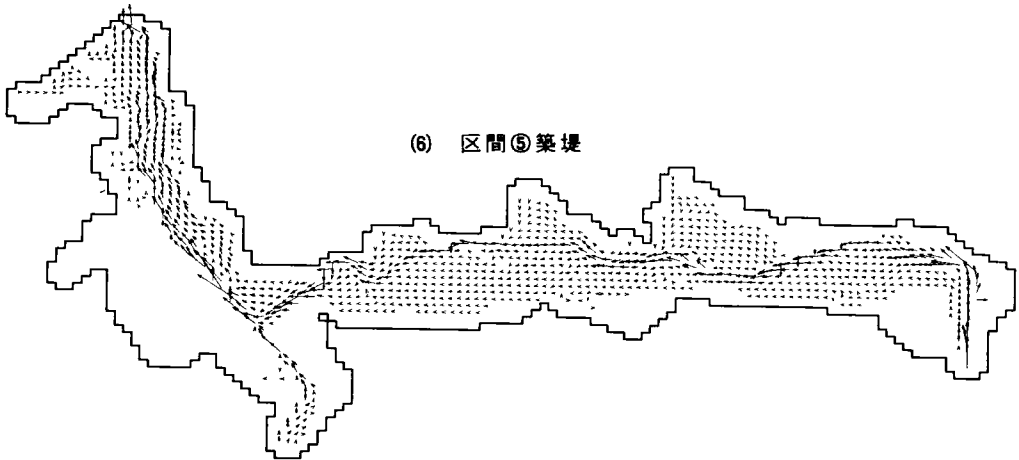
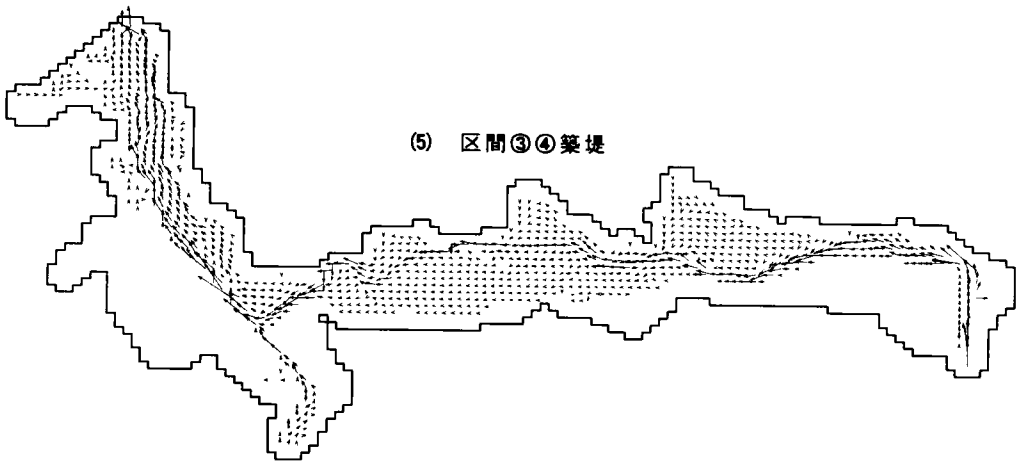
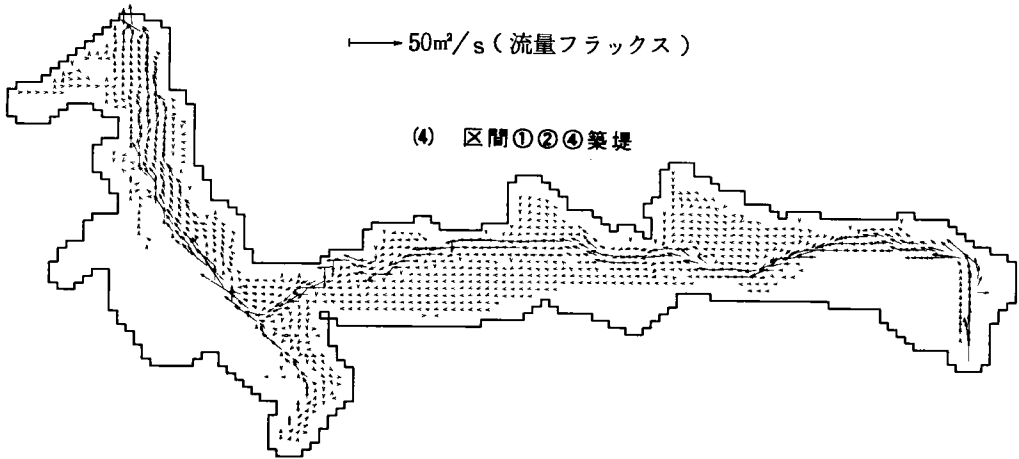


図 5.3.5 氾濫形態 (流量規模 $4,800\text{m}^3/\text{s}$)

凡 例

→ 50m²/s (流量フラックス)

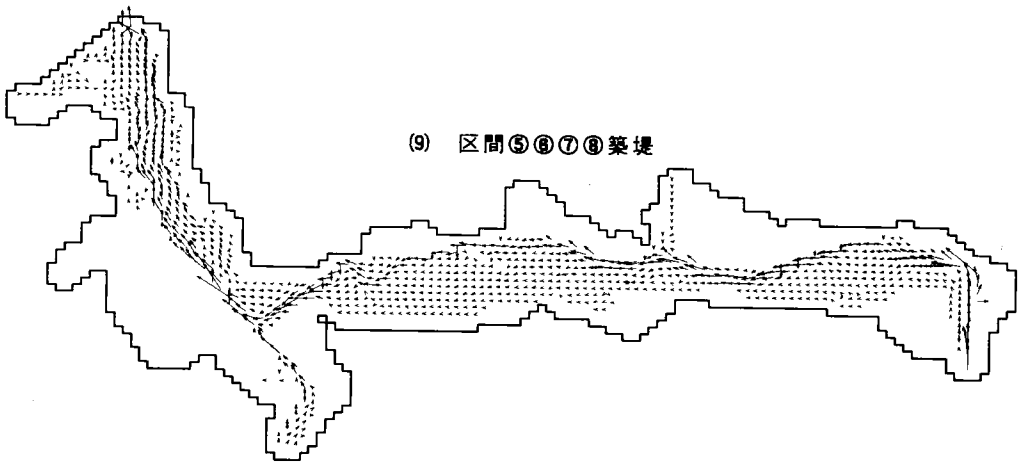
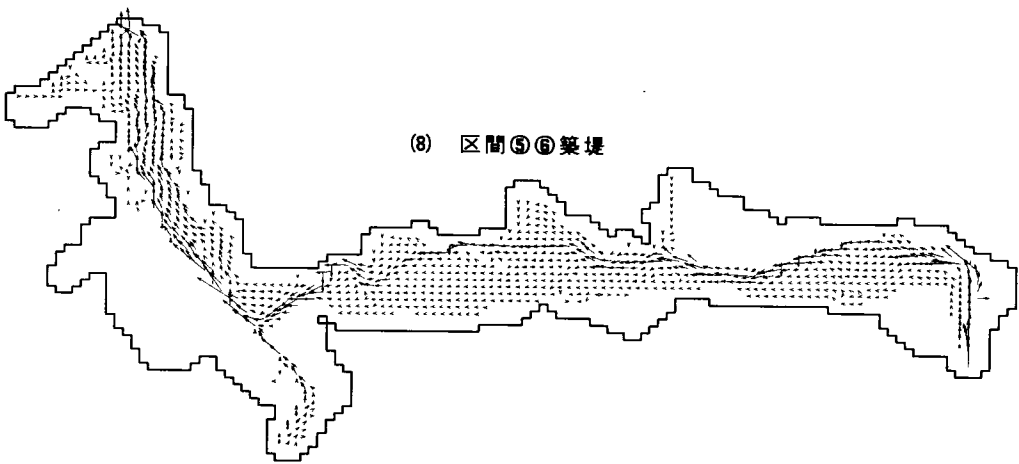
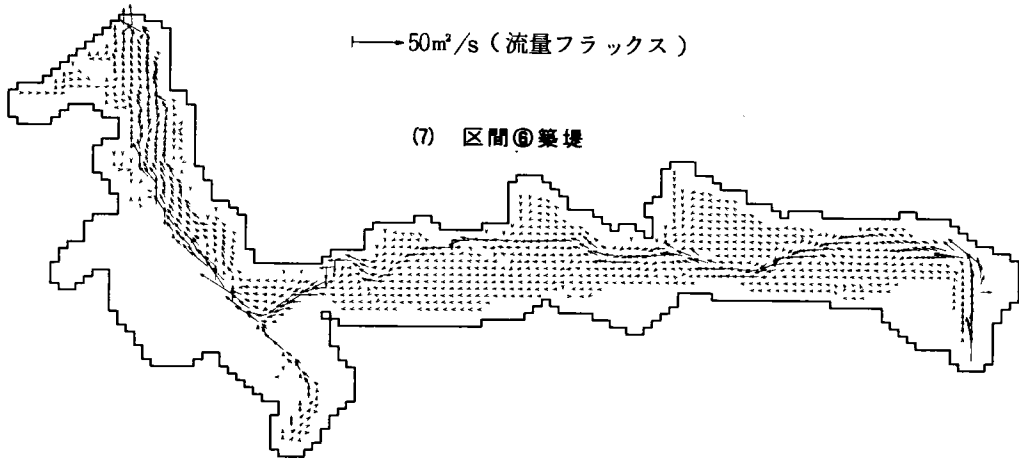


図 5.3.5 氾濫形態(流量規模 4,800m³/s)

凡 例

→ $50\text{m}^3/\text{s}$ (流量フラックス)

(00) 計画完了

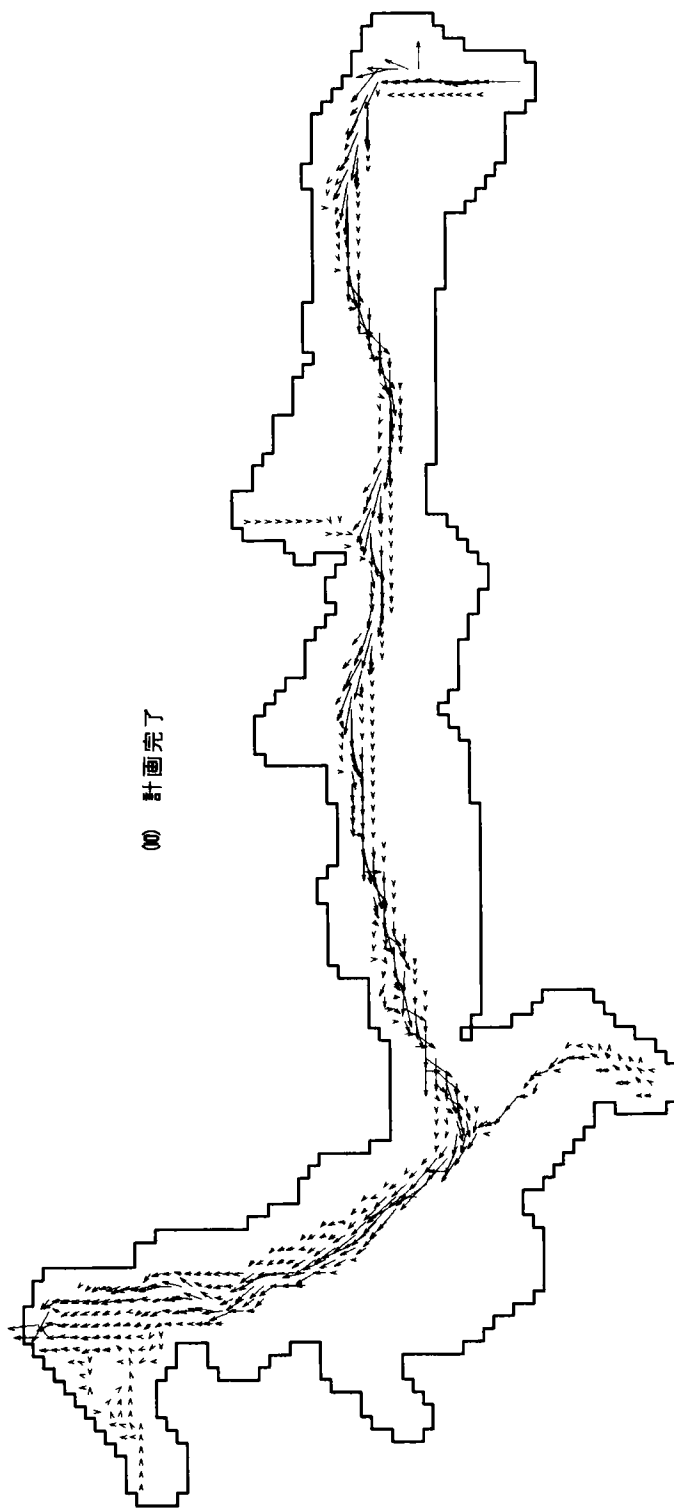


図 5.3.5 氾濫形態 (流量規模 $4,800\text{m}^3/\text{s}$)

凡 例

→ 50m³/s (流量フラックス)

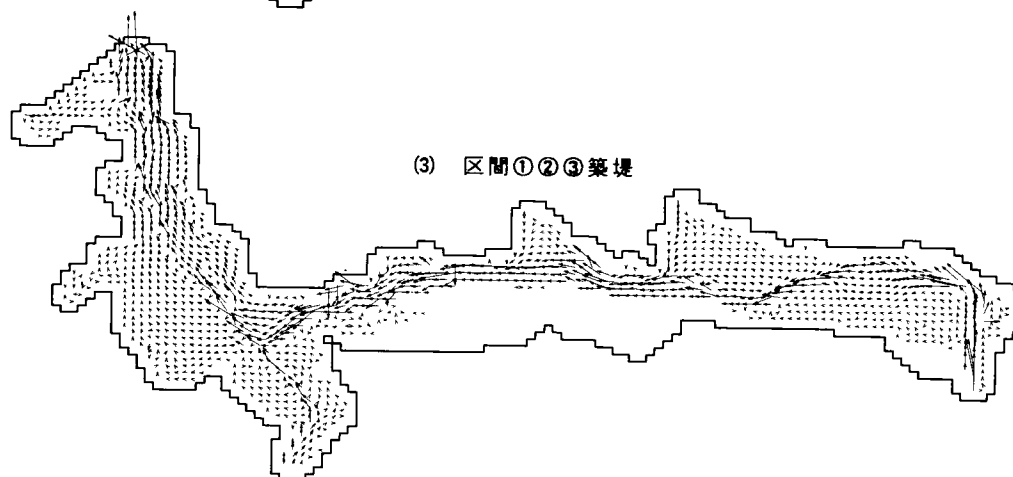
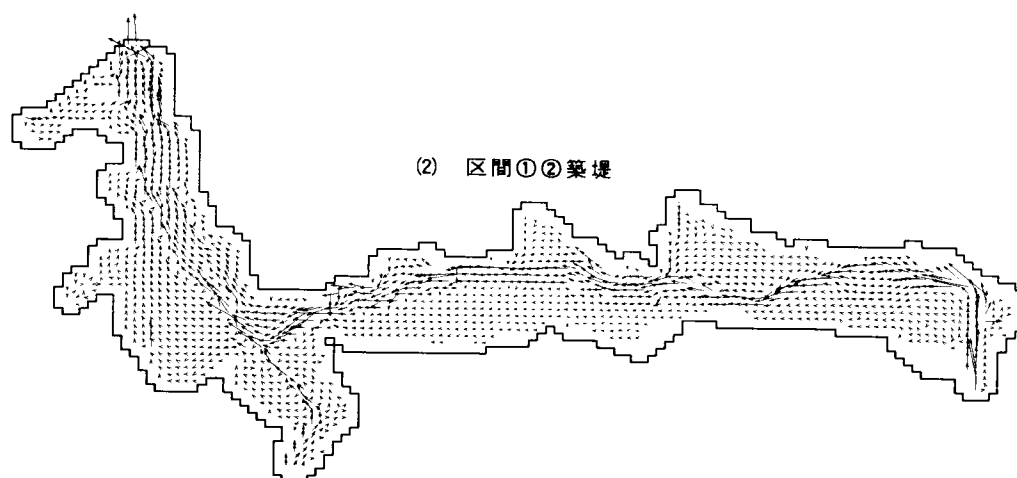
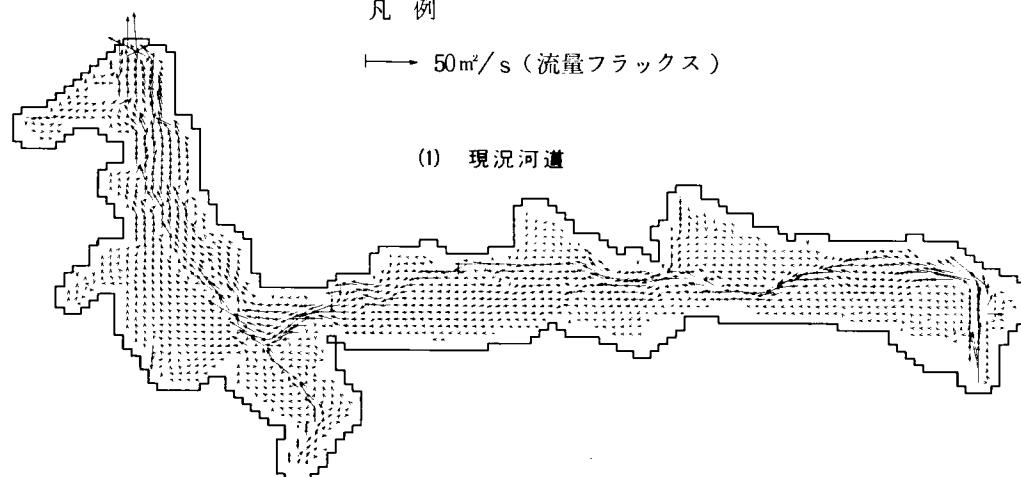


図 5.3.6 氾濫形態 (流量規模8,100m³/s)

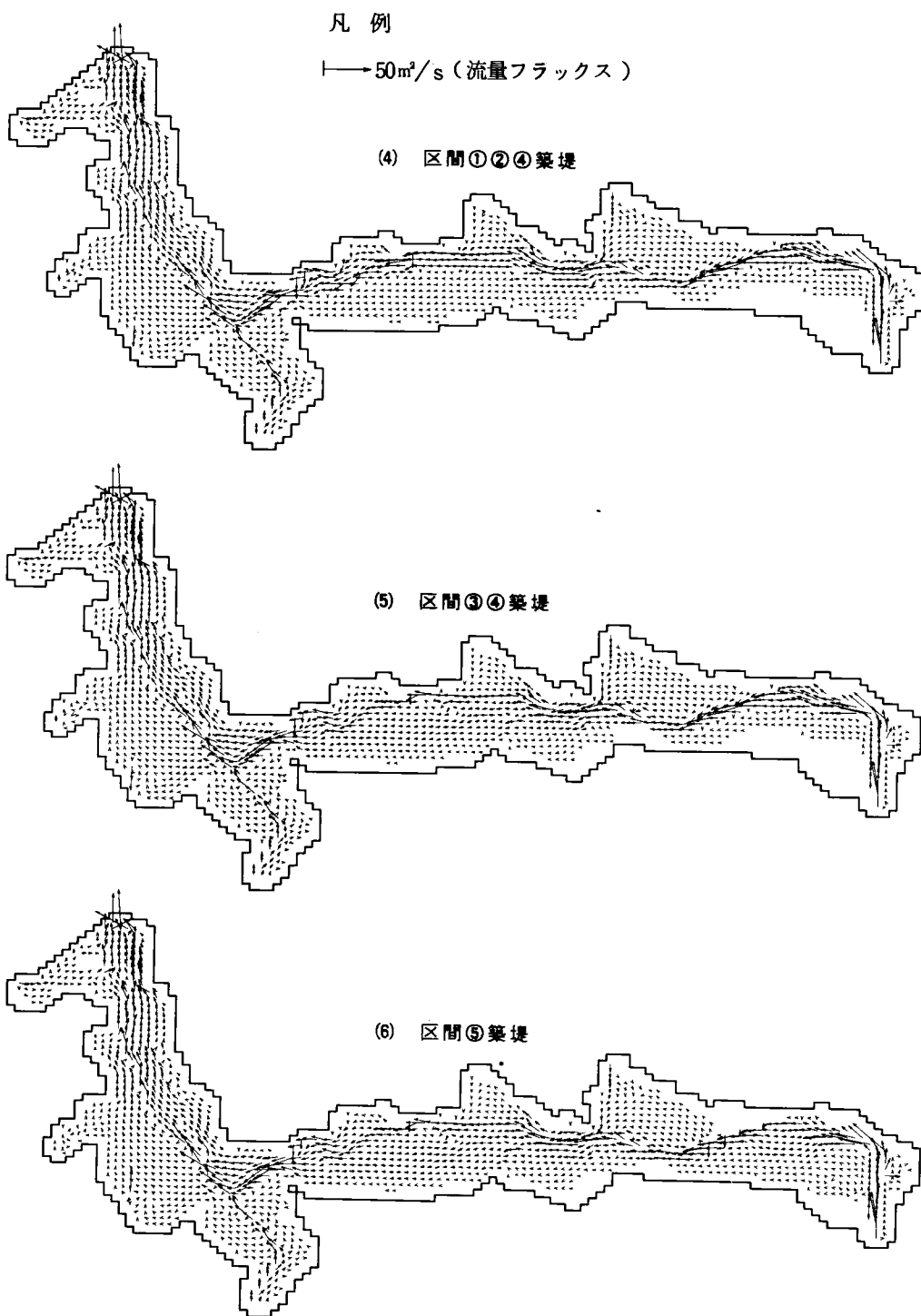


図 5.3.6 氾濫形態(流量規模 $8,100\text{m}^3/\text{s}$)

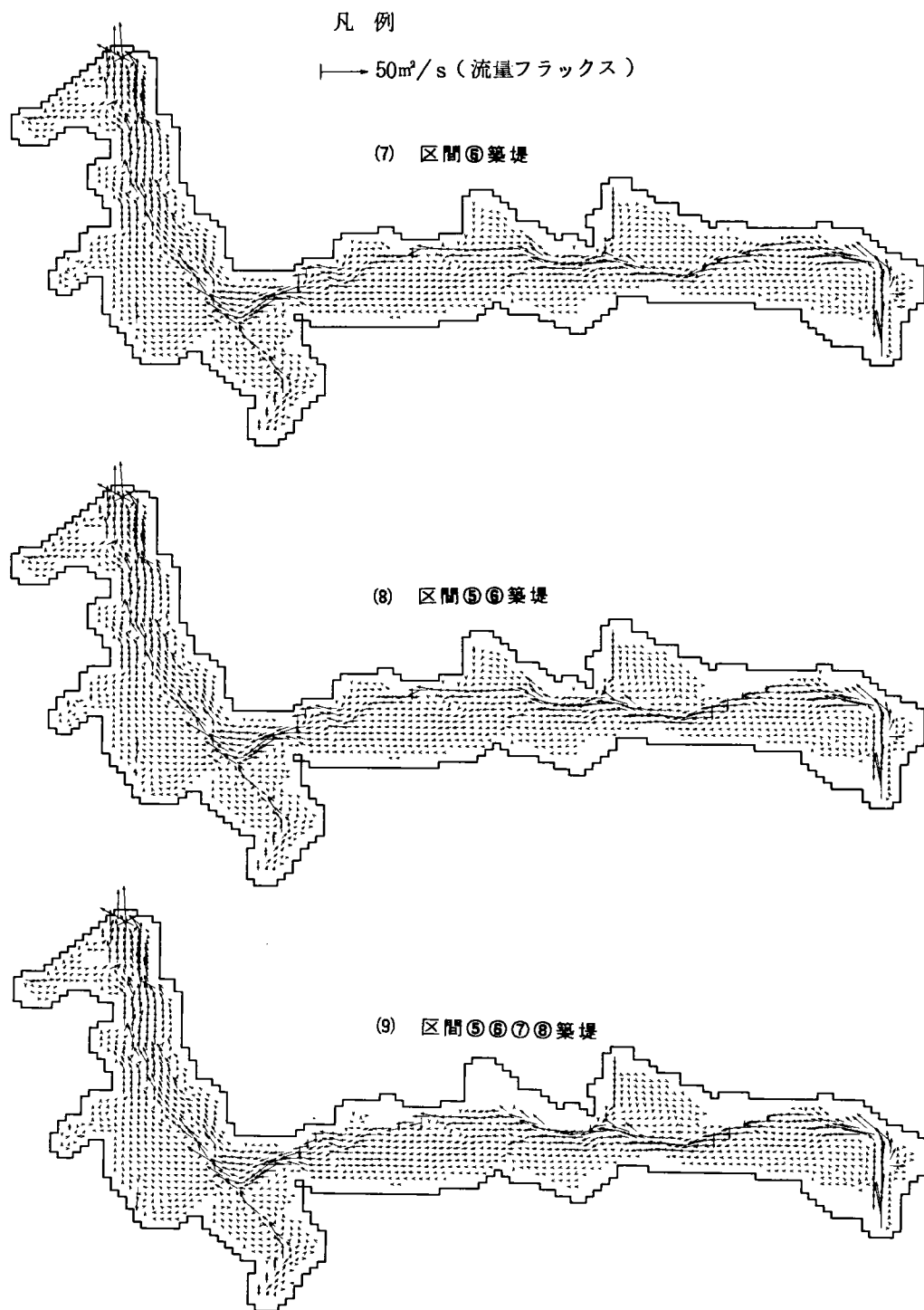


図 5.3.6 氾濫形態(流量規模 $8,100\text{m}^3/\text{s}$)

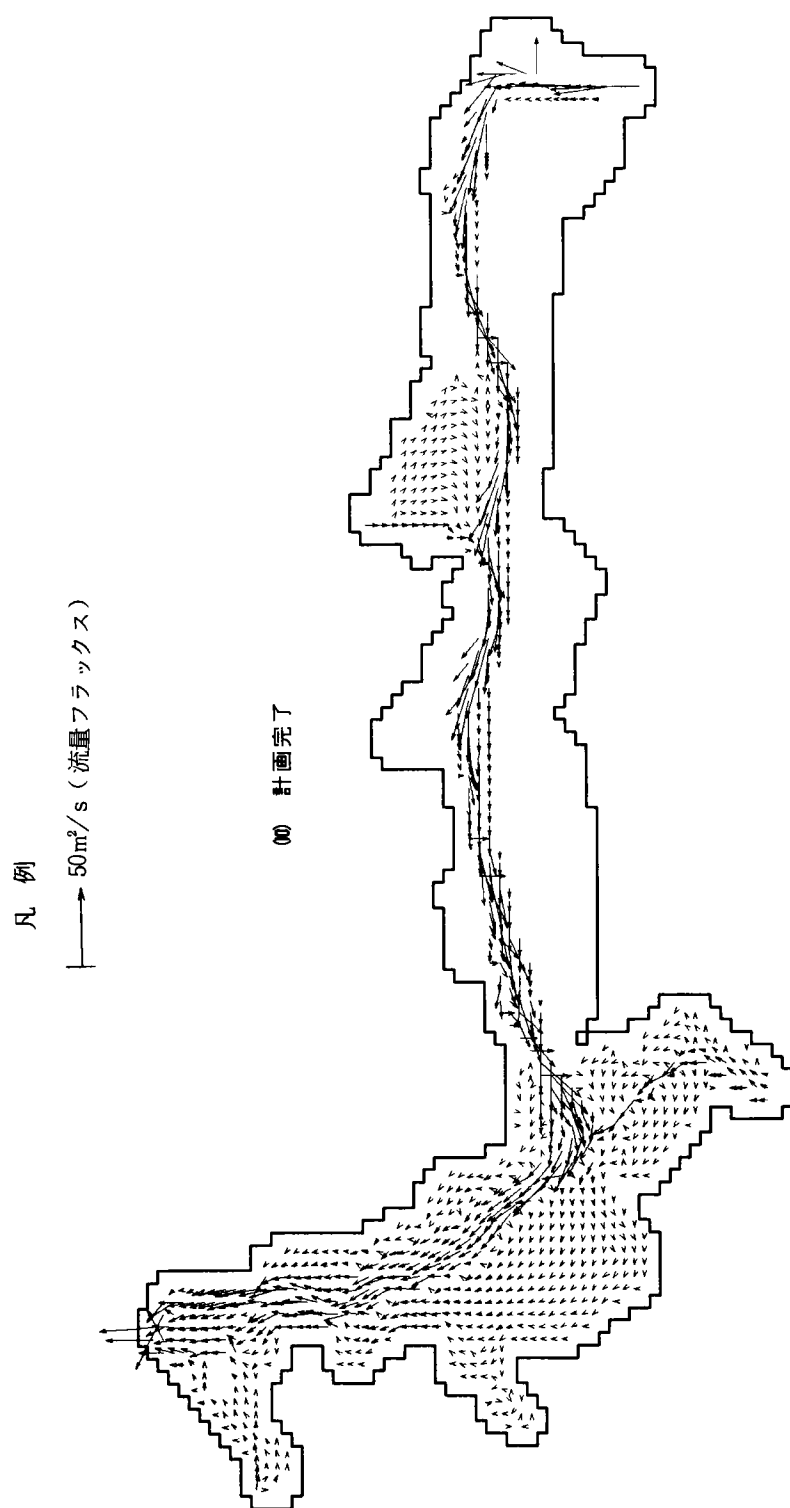


図 5.3.6 氾濫形態 (流量規模 $8,100 \text{ m}^3/\text{s}$)

つぎに、改修による氾濫水の状況を見る。図5.3.5(2)～(9)からも分るように、地形的に氾濫区域が閉じている栗、私市ならびに川北ブロックでは、個々の地先築堤のみで洪水を防禦することができるが、高津、戸田、前田ブロックのように、氾濫区域が一体となっているようなところでは部分改修による洪水防禦効果はあまりなく、この三ブロック地先の全区間が改修されて初めて湛水が生じないという結果が得られている。特に前田ブロック地先単独の築堤は、当該ブロックでの湛水軽減効果をほとんど持たないばかりか、かえって堤内地の氾濫水が河道にもどることを遮り、その結果、氾濫水が狭搾部をこえて土師川右岸に流れ込むという状況になっている。なお、計画完成後にはいずれのブロックにおいても氾濫は見られない。

ロ) $8,100\text{m}^3/\text{s}$ を対象とした場合

図5.3.6.(1)～(9)に $8,100\text{m}^3/\text{s}$ の洪水規模についての解析結果を示した。各氾濫ブロックの氾濫現象は、浸水規模の差は認められるが改修の影響の仕方については $4,800\text{m}^3/\text{s}$ の場合とほぼ同様の傾向を呈している。

(2) 実験計画法による湛水量予測モデルの作成

① 氾濫形態の概要

最適化システムに(1)で検討をしてきた二次元不定流による洪水氾濫現象モデルを内挿することは、前述したように、システム演算に多大な時間を必要とすること、また、そのための経費が膨大なものとなることから現実問題としては不可能である。

そのため、ここでは、(1)での予備的検討を踏まえ、改修による各ブロックの洪水氾濫形態の変化を湛水量の変化として捉え、実験計画法を適用したモデルを作成する。

まず由良川の中流区間における改修事業内容を、前述したように、築堤9区間、河道掘削2区間の計11の事業ブロックに分割し、各事業の組合せが氾濫ブロックの湛水量にどの程度の影響力を持つかを定性的に解析した。ブロック別の解析結果の概要を紹介する。

イ) 前田・土師ブロック

由良川40km左岸に位置し、上流の戸田、高津ブロックと一連の氾濫区域を形成している。このため三ブロックに接する区間①、②、③の築堤がすべて完了した場合にのみ大きな効果が現れ、これらの区間の1箇所でも未改修であれば比較的大規模な氾濫が生じている。特に下流区間①が築堤され、上流側の区間②、③のいずれかが未改修の場合には、堤内地を流下してきた氾濫水が河道に戻ることを遮られ、前田あるいは土師ブロックに湛水したままとなり、多大な被害が発生している。

ロ) 戸田ブロック

前田ブロックと同様に区間①、②、③すべてが築堤された場合にのみ氾濫せず、未改修区間が1箇所でもあれば氾濫する。当ブロックにとっては地先区間②の単独の築堤ではほとんど効果がなく、区間①あるいは③と同時に築堤された場合にのみ堤内地湛水量の軽減が見られる。

なお当ブロックと対岸の私市ブロックは上流ならびに下流部掘削区間の境界付近に位置しているため、両区間の掘削によっても湛水量は微妙に変化している。

ハ) 高津ブロック

ここは本川河道と山陰本線に挟まれた狭い氾濫区域を形成しており、地形的には上流の綾部ブロックと山陰本線の盛土で区分されている。このため洪水規模が比較的小さい場合には区間③の築堤のみで氾濫のほとんどを防ぐことが可能であるが、洪水流量が増大すると綾部ブロック下流の未改修区間から氾濫水の一部がブロック内に流入する現象も見られる。洪水規模の大小にかかわらず、区間③、④が同時に築堤された場合にのみ氾濫は生じていない。

ニ) 綾部・位田ブロック

両ブロックとも由良川中流部最上流に位置し、現在左右岸ともに50km～53kmで堤防が概成している。このため氾濫水は以久田橋、位田橋間の下流側未改修区間から市街地に流れ込むような形態を見せている。洪水規模が比較

的小さい場合には、区間④、⑤の築堤が完了すれば綾部、位田ブロックともに、ほぼ被害はなくなるが、洪水規模が大きくなると51km付近で河道法線が大きく変化していることも影響し、右岸位田ブロックで一部氾濫が見られる。もっとも上流部掘削も合わせて完了すれば、氾濫は生じていない。

ホ) 栗ブロック

由良川本川、犀川合流付近に位置し、右岸の区間⑤、⑥の築堤がともに完了すると氾濫は生じない。両区間のうち下流区間⑥が完成し、上流側の区間⑤が未改修の場合には、氾濫水が堤内地に貯留し、大きな被害が生じている。区間⑤、⑥のいずれかが未改修の状態では、対岸の区間③、④の築堤による増水、上流部掘削による減水など、他区間の改修による影響も現れている。

ヘ) 私市ブロック

私市ブロックは上下流を山付堤で囲まれた形状となっている。このため当ブロックにとって被害軽減効果の最も高い改修は地先区間⑦の築堤である。予備的検討結果から種々の改修パターンに対する湛水量を比較すると、区間⑦が築堤されている場合には、いずれも氾濫は生じていない。なお区間⑦が未改修の状態では、主に対岸の区間②、③の築堤状況あるいは上下流部掘削の有無によっても堤内地湛水量は変化している。

ト) 川北ブロック

堤内地の形状は私市ブロックと同様であり、したがって地先区間⑧の築堤による被害軽減効果が最も高く現れている。また区間⑧が未改修の状態では対岸の区間①、②、③の改修状況ならびに下流部掘削の有無によっても湛水量が多少変化している。

チ) 猪崎ブロック

猪崎ブロックにおいては、39km付近に狭窄部があり、上流側の改修による影響は直接伝わらない状況となっている。このため猪崎ブロックの氾濫規模に最も影響を与える改修は地先区間⑨の築堤ならびに下流部掘削である。

リ) 福知山ブロック

当ブロックの築堤は概成しており、計画高水流量 $5,600\text{m}^3/\text{s}$ 以下の洪水では氾濫は生じない。計画高水流量を上回る洪水規模を設定した場合には、平均7mの湛水位となっている。他区間の改修による湛水量の変化はほとんど見られないが、対岸区間⑨の築堤ならびに下流部掘削による湛水量の増減効果は若干認められる。

表5.3.4 ブロック別湛水量に影響を与える改修工事

改修工事	ブロック	前土田	戸田	高津	綾位部田	栗	私市	川北	猪崎	福知山
築堤区間	①	○	○					△		
	②	○	○				△	△		
	③	○	○	○		△	△	△		
	④			△	○	△				
	⑤			△	○	○				
	⑥			△		○				
	⑦		△				△			
	⑧	△						△		
	⑨								○	△
掘削区間	下流部	○	△				△	○	○	○
	上流部		○	○	○	○	○			

○……大きな影響を与える
△……影響を与える

以上の解析結果より、由良川中流部各氾濫ブロックの湛水規模に影響すると判断される改修工事を表5.3.4にまとめる。

② 湛水量予測モデルの作成

由良川中流部の改修と洪水氾濫との関係は①で検討してきたとおりであり、この検討結果をもとに各氾濫ブロックの湛水量予測モデルにおける要因を表5.3.5(1)、(2)に示すように設定した。これらの要因効果を算定するために第4章、で述べた直交配列表によるシミュレーション実験を行う。なお、実験計画法によらず、他の統計手法を用いる場合には、要因間の交互作用を考慮することが困難である。しかも各要因の効果を把握するために単純に各氾濫ブロックの個々の要因の総ての組合せに対して実験を行うとしても、そのケース数は2,024となる。直交配列表を適用すると、氾濫ブロック別のシミュレーション実験回数は表5.3.6に示す通りであり、これによると流域全体で1洪水規模当り80ケースの解析を行うことになり、かなり実験回数を削減できたことが分る。

表5.3.5 (1) ブロック別湛水量の予測説明要因

	要 因 (主 効 果)		交 互 作 用 効 果	直 交 配列表 サイズ
	要 因	効 果		
前 田 ・ 土 師	〔区間①②③の築堤〕 4 水準	〔区間⑤の築堤〕 2 水準 〔下流部掘削〕 2 水準	区間①②③の築堤と下流部掘削	$L_{16}(2^{15})$
	水準 1: 区間①が未改修の場合 水準 2: 区間①築堤完了, 区間②未改修 水準 3: 区間①②築堤完了, 区間③未改修 水準 4: 区間①②③すべて築堤完了	水準 1: 区間⑤未改修 水準 1: 掘削前 水準 2: 区間⑤築堤完了 水準 2: 掘削後	水準数 4 × 2	
戸 田	〔区間①の築堤〕 2 水準	〔区間②③の築堤〕 3 水準	区間①の築堤と 下流部掘削	$L_{32}(2^{11})$
	水準 1: 区間①未改修 水準 2: 区間①築堤完了	水準 1: 区間③が未改修の場合 水準 2: 区間②未改修 区間③築堤完了 水準 3: 区間②③が共に築堤完了	区間②③の築堤と 上流部掘削 水準数 2 × 2 水準数 3 × 2	
高 津	〔区間③の築堤〕 2 水準	〔区間④の築堤〕 2 水準	区間③の築堤と上流部掘削	$L_{16}(2^{15})$
	水準 1: 区間③未改修 水準 2: 区間③築堤完了	水準 1: 区間④未改修 水準 2: 区間④築堤完了	水準数 2 × 2	
磯 部 ・ 位 田	〔区間④の築堤〕 2 水準	〔区間⑤の築堤〕 2 水準	区間④の築堤と上流部掘削	$L_8(2^7)$
	水準 1: 区間④未改修 水準 2: 区間④築堤完了	水準 1: 掘削前 水準 2: 掘削後	水準数 2 × 2	
栗	〔区間⑤⑥の築堤〕 4 水準	〔区間③の築堤〕 2 水準	区間⑤⑥の築堤と上流部掘削	$L_{16}(2^{15})$
	水準 1: 区間⑤⑥が共に未改修 水準 2: 区間⑤築堤完了, 区間⑥未改修 水準 3: 区間⑤未改修, 区間⑥築堤完了 水準 4: 区間⑤⑥が共に築堤完了	水準 1: 区間③未改修 水準 2: 区間③築堤完了 水準 3: 区間④が未改修 水準 4: 区間④築堤完了	水準数 4 × 2	

・ $L_i(2^j)$ は直交配列表のサイズを示す。

i 実験数

j 要因数 (直交配列表の列数) $j = i - 1$

表5.3.5 (2) ブロック別湛水量の予測説明要因

	要 因 (主 効 果)				交 互 作 用 効 果		直 交 配 列 表 サ イ ズ
	〔区間①の築堤〕2水準 水準 1：区間①未改修 水準 2：区間①築堤完了	〔区間②③の築堤〕3水準 水準 1：区間②が未改修の場合 水準 2：区間②築堤完了、区間③未改修 水準 3：区間②③が共に築堤完了	〔下流部掘削〕2水準 水準 1：掘削前 水準 2：掘削後	〔上流部掘削〕2水準 水準 1：掘削前 水準 2：掘削後	区間①の築堤と 下流部掘削	区間①の築堤と 上流部掘削	
私 市					水準数 2×2	水準数 2×2	L ₁₆ (2 ¹⁵)
川 北	〔区間⑧の築堤〕2水準 水準 1：区間⑧未改修 水準 2：区間⑧築堤完了	〔区間①②③の築堤〕2水準 水準 1：区間①②③の少なくとも 1区間は未改修 水準 2：区間①②③がすべて築堤完了	〔下流部掘削〕2水準 水準 1：掘削前 水準 2：掘削後		区間⑧の築堤と下流部掘削	水準数 2×2	L ₈ (2 ⁷)
猪 崎	〔区間⑨の築堤〕2水準 水準 1：区間⑨未改修 水準 2：区間⑨築堤完了	〔下流部掘削〕2水準 水準 1：掘削前 水準 2：掘削後			区間⑨の築堤と下流部掘削	水準数 2×2	L ₄ (2 ³)
福 知 山	〔区間⑨の築堤〕2水準 水準 1：区間⑨未改修 水準 2：区間⑨築堤完了	〔下流部掘削〕2水準 水準 1：掘削前 水準 2：掘削後			区間⑨の築堤と下流部掘削	水準数 2×2	L ₄ (2 ³)

・L_i(2^j)は直交配列表のサイズを示す。
i …… 実験数
j …… 要因数 (直交配列表の列数) j = i - 1

表 5.3.6 湛水量予測モデル作成のための二次元不定流解析ケース

実験 番号	築堤区間									掘削区		対象ブロック					
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	下流	上流	前田・土師	戸田	高津	總・位	栗市	私川・猪北・福知山
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56																	
57																	
58																	
59																	
60																	
61																	
62																	
63																	
64																	
65																	
66																	
67																	
68																	
69																	
70																	
71																	
72																	
73																	
74																	
75																	
76																	
77																	
78																	
79																	
80																	

注1) ○印は改修事業を実施する事業ブロックを意味する。
 注2) □は各/湛ブロックで予測モデル作成のために利用する/湛解析ケースを意味する。

実験計画法によって得られた各要因の効果値を表5.3.7(1)～(5)に示す。

なお、湛水量予測モデルの構造は第4章の(4.40)式に示しているが、この要因効果の所に表5.3.7で得られた数値を代入すればよいことになる。なお、本事例研究においては、表5.3.7の要因効果のうち、F検定で10%有意となった要因までを採用してモデル構造を設定した。

以上によって決定された湛水量予測モデルの精度を検証するため、モデル作成のために使用した洪水氾濫解析ケース以外に表5.3.8に示す15ケースについて基準点流量を4,800 m³/sおよび8,100 m³/sの2つの洪水規模の下で2次元不定流解析を行なった。モデルによる推計値と2次元不定流計算結果の相関を調べたところ、図5.3.7でも明らかなように、かなりの精度で改修の湛水量への影響を説明することが可能となった。

表 5.3.8 現象再現性検討のための解析ケース

実験 番号	築 堤 区 間									掘削区間	
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	下流部	上流部
1				○	○						
2		○	○			○					
3		○					○				
4	○							○			
5			○	○							
6					○	○					
7	○	○									
8							○	○			
9	○	○	○	○							
10					○	○	○	○			
11									○		
12										○	
13	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
14										○	○
15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：事業実施

表5.3.7 (1) ブロック別要因効果値

前田・土師ブロック

(単位：千㎡)

要 因	主 効 果												交 互 作 用 効 果						平 均 湛水量
	区 間 ① ② ③ の 築 堤				区間③の築堤				* 下流部掘削				* 区間①②③の築堤と下流部掘削						
	1	2	3	4	1	2	1	2	1×1	2×1	3×1	4×1	1×2	2×2	3×2	4×2			
水 準																			
効 流 量 規 模 4800m/s	379	741	993	-1355	117	117	148	-148	188	63	-103	-148	-188	-63	103	148	1354		
果 流 量 規 模 8100m/s	383	992	503	-1878	-40	40	71	-71	83	79	98	-64	-83	-79	98	64	1892		
水 準 の 内 容	水準1：区間①が未改修の場合 水準2：区間①築堤完了、区間②未改修の場合 水準3：区間①②築堤完了、区間③未改修 水準4：区間①②③すべて築堤完了				水準1：未改修 水準2：築堤完了				水準1：掘削前 水準2：掘削後				区間①②③の築堤（水準j=1,2,3,4）と下流部掘削（水準j=1,2）の交互作用を1×jで示す。						

*：流量規模4800m/s 10%有意 **：流量規模8100m/s 10%有意

戸田ブロック

(単位：千㎡)

要 因	主 効 果												交 互 作 用 効 果						平 均 湛水量																													
	* 区間①の築堤 **				* 区間②③の築堤 **				* 下流部掘削 **				* 区間⑦の築堤 **				* 上流部掘削 **				* 区間②③の築堤と上流部掘削 **																											
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2																			
水 準																																																
効 流 量 規 模 4800m/s	-45	45	54	91	-199	-5	5	24	-24	100	-100	14	-14	-14	14	74	-24	-124	-74	24	124	327																										
果 流 量 規 模 8100m/s	114	114	88	196	372	14	14	27	-27	61	-61	6	-6	-6	6	-14	90	-62	14	-90	62	649																										
水 準 の 内 容	水準1：区間①未改修 水準2：区間①築堤完了 水準3：区間②③が共に築堤完了												水準1：掘削前 水準2：掘削後												区間①の築堤（水準1=1.2）と 下流部掘削（水準1=1.2）の 交互作用を、1×1で示す。												区間②③の築堤（水準k=1.2,3）と 上流部掘削（水準m=1.2）の 交互作用を、k×mで示す。											

*：流量規模4800m/s 10%有意 **：流量規模8100m/s 10%有意

表 5.3.7 (2) ブロック別要因効果値

高津ブロック

(単位：千㎡)

要 因	主 効 果						交 互 作 用 効 果				平均 湛水量	
	* 区間③の築堤 **		* 区間④の築堤		* 区間⑤⑥の築堤		* 上流部掘削 **		* 区間③の築堤と上流部掘削			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1 × 1	2 × 1		1 × 2
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
効 果	25	-25	9	-9	-3	-4	10	21	-21	12	-12	12
内 容	38	-38	11	-11	-4	-10	18	30	-30	1	-1	1
水 準	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	

* : 流量規模4800m³/s 10%有意 ** : 流量規模8100m³/s 10%有意

緑部・位田ブロック

(単位：千㎡)

要因	主 効 果						交 互 作 用 効 果			平均 湛水量
	区間④の築堤		区間⑤の築堤		上流部掘削		区間④の築堤と上流部掘削		区間④の築堤と上流部掘削	
	1	2	1	2	1	2	1 × 1	2 × 1	1 × 2	2 × 2
水 準	1	2	1	2	1	2	1 × 1	2 × 1	1 × 2	2 × 2
効 果	167	-167	-2	2	108	-108	108	-108	-108	108
内 容	246	-246	-14	14	141	-141	91	-91	-91	91
水 準	1	2	1	2	1	2	1 × 1	2 × 1	1 × 2	2 × 2
効 果	167	-167	-2	2	108	-108	108	-108	-108	108
内 容	246	-246	-14	14	141	-141	91	-91	-91	91

* : 流量規模4800m³/s 10%有意 ** : 流量規模8100m³/s 10%有意

栗ブロック

栗ブロック

* : 流量規模4800m³/s 10%有意
** : 流量規模8100m³/s 10%有意

私市ブロック

(单位: 千 m³)

*: 流量規模4800m³/s 10%有意

*：流量規模4800m³/s 10%有意

***: 流量規模 $8100 \text{ m}^3/\text{s}$ 10% 有意

表 5.3.7 (4) ブロック別要因効果値

川北ブロック

(単位：千m³)

要 因	主 効 果				交 互 作 用 効 果						平 均 湛水量
	区間⑧の築堤 **		区間①②③の築堤		下流部掘削 **		区間⑧の築堤と下流部掘削 *				
水 準	1	2	1	2	1	2	1 × 1	2 × 1	1 × 2	2 × 2	
幼 流 量 規 模 4800m³/s	145	-145	-24	24	51	-51	34	-34	-34	34	
成 果 流 量 規 模 8100m³/s	322	-322	-22	22	29	-29	7	-7	-7	7	
水 準 の 容 容	水準1：区間⑧ 未改修 水準2：区間⑧ 築堤完了		水準1：区間①②③ の少なくとも1区 間は未改修 水準2：区間①②③ がすべて築堤完了		水準1：掘削前 水準2：掘削後		区間⑧の築堤（水準1 = 1.2）と 下流部掘削（水準2 = 1.2）の 交互作用を i × j で示す。				

*：流量規模4800m³/s 10%有意 **：流量規模8100m³/s 10%有意

結崎ブロック

(単位：千m³)

要 因	主 効 果				交 互 作 用 効 果				平 均 湛水量
	区間⑨の築堤 *		下流部掘削		区間⑨の築堤と下流部掘削				
	水準 1	水準 2	水準 1	水準 2	1×1	2×1	1×2	2×2	
効果 流量規模 4800m³/s	297	-297	26	-26	13	-13	-13	13	310
効果 流量規模 8100m³/s	2	-2	6	-6	1	-1	-1	1	1705
水準の 内 容	水準1：区間⑨未改修 水準2：区間⑨築堤完了		水準1：掘削前 水準2：掘削後		区間⑨の築堤（水準 i = 1, 2）と 下流部掘削（水準 j = 1, 2）の 交互作用を i × j で示す。				

*：流量規模4800m³/s 10%有意 **：流量規模8100m³/s 10%有意

表 5.3.7 (5) ブロック別要因効果値

福知山ブロック

(単位：T・m³)

要 因	主 効 果		交 互 作 用 効 果				平 均 湛水量
	区 間 ④ の 築 堤		区 間 ⑤ の 築 堤 と 下 流 部 掘 削				
	1	2	1 × 1	2 × 1	1 × 2	2 × 2	
水 準	0	0	0	0	0	0	0
効 果 値	4800 m ³ /s	0	0	0	0	0	0
流 量 規 模	8100 m ³ /s	4	1.5	-1.5	2	2	-2
4498							
水 準 の 内 容	水準 1：掘削前 水準 2：掘削後		区間⑤の築堤（水準 i = 1.2）と 下流部掘削（水準 j = 1.2）の 交互作用を i × j で示す。				

・（流量規模 4800 m³/s 時 考慮せず） *：流量規模4800m³/s 10%有意 **：流量規模8100m³/s 10%有意

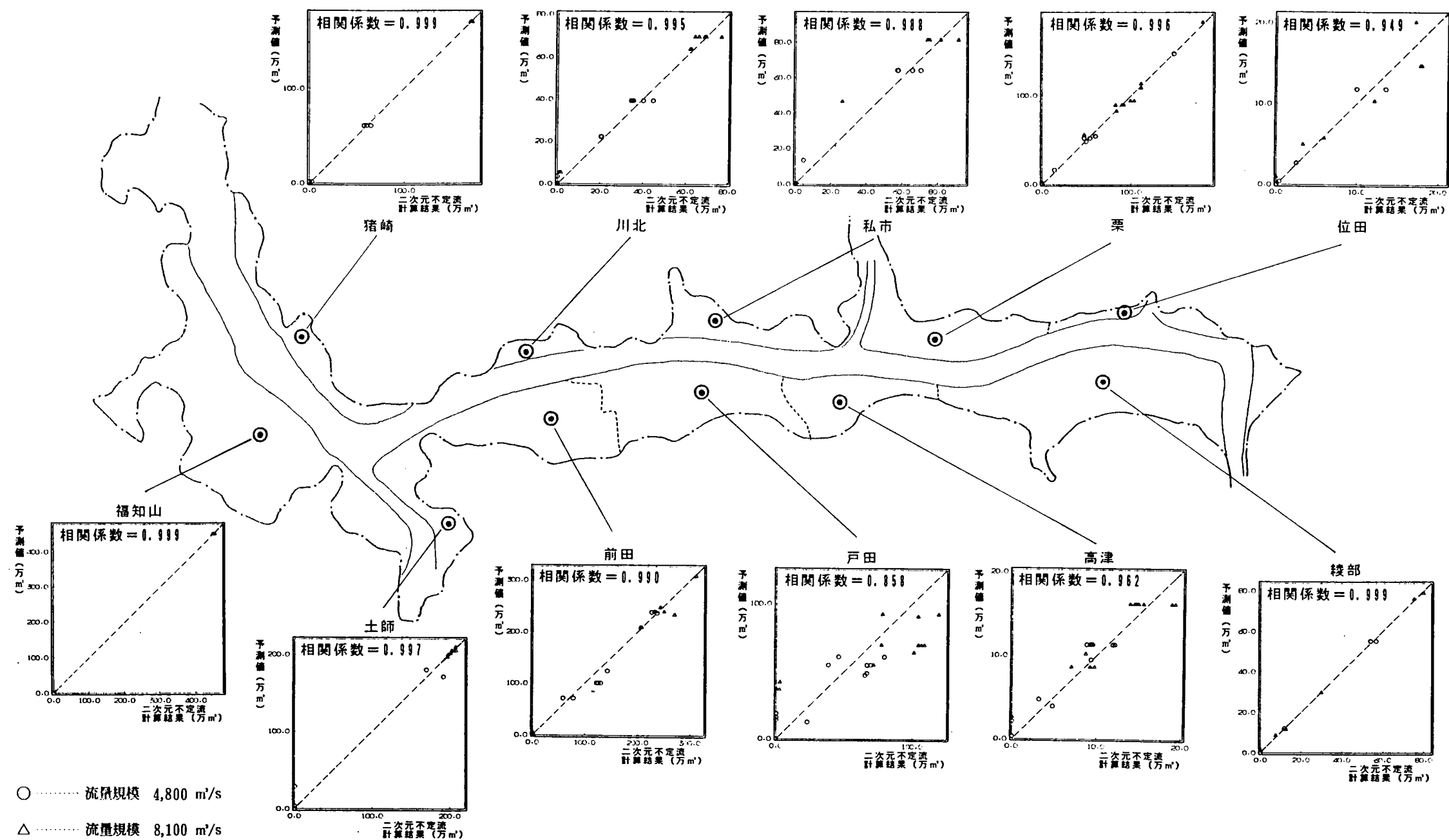


図5.3.7 実験計画法によるブロック別湛水量の予測

3－3．被害額算定モデル

前項で紹介した湛水量予測モデルにより、改修に伴う氾濫ブロックの湛水量が求まることになる。この湛水量から、各氾濫ブロックの湛水位を求め、これに、建設省近畿地方建設局福知山工事事務所において実施された治水経済調査⁴⁾の各氾濫ブロックの水位～被害の関係を導入することにより、被害額を算定する。

また、本論では被害額を年平均被害額で算定することとする。図5.3.8に各氾濫ブロックの主要ポイントにおける湛水量～水位（ $V-H$ ）、および図5.3.9に水位～被害（ $H-D$ ）の関係を示した。

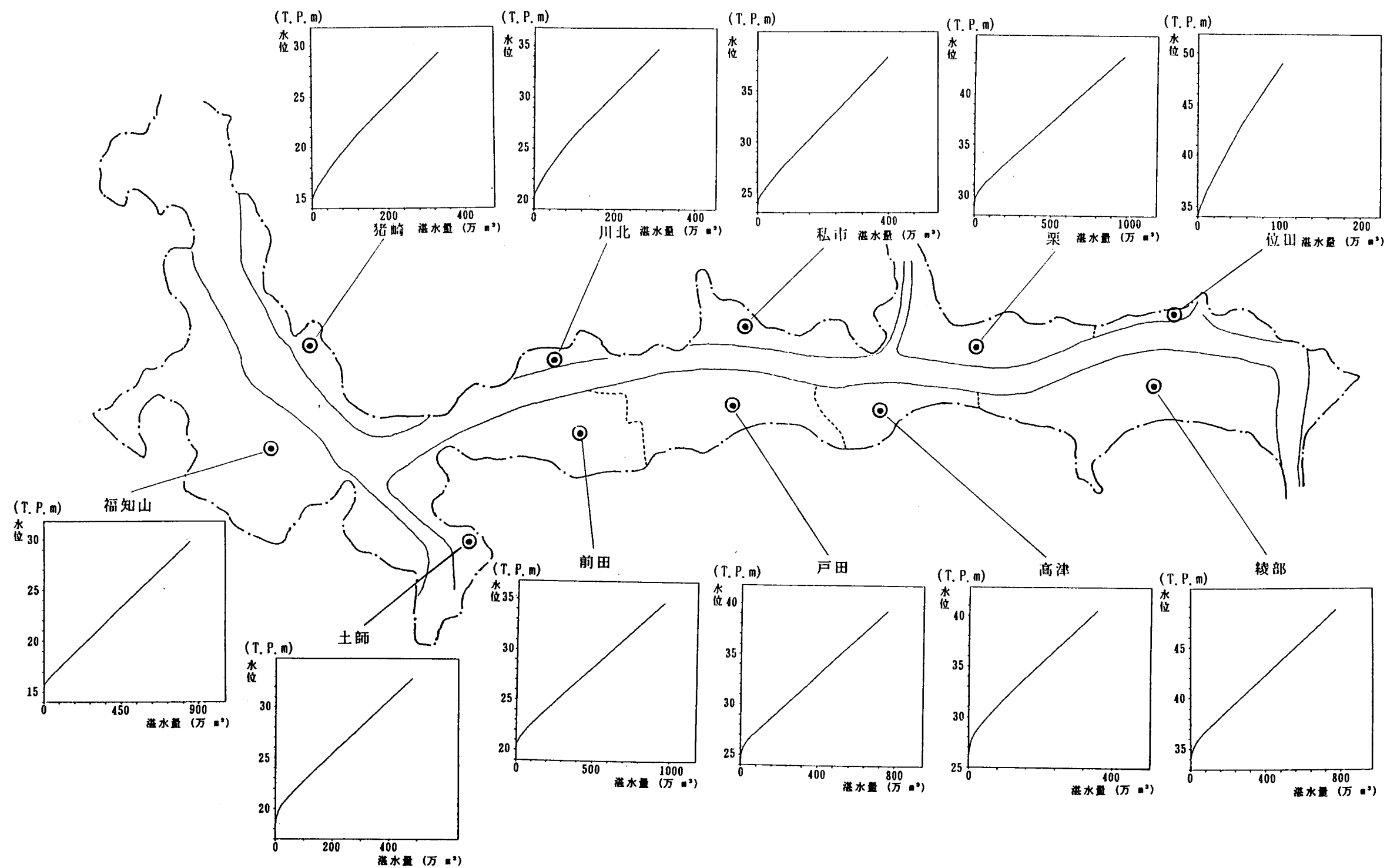


図5.3.8 ブロック別水位～湛水量曲線

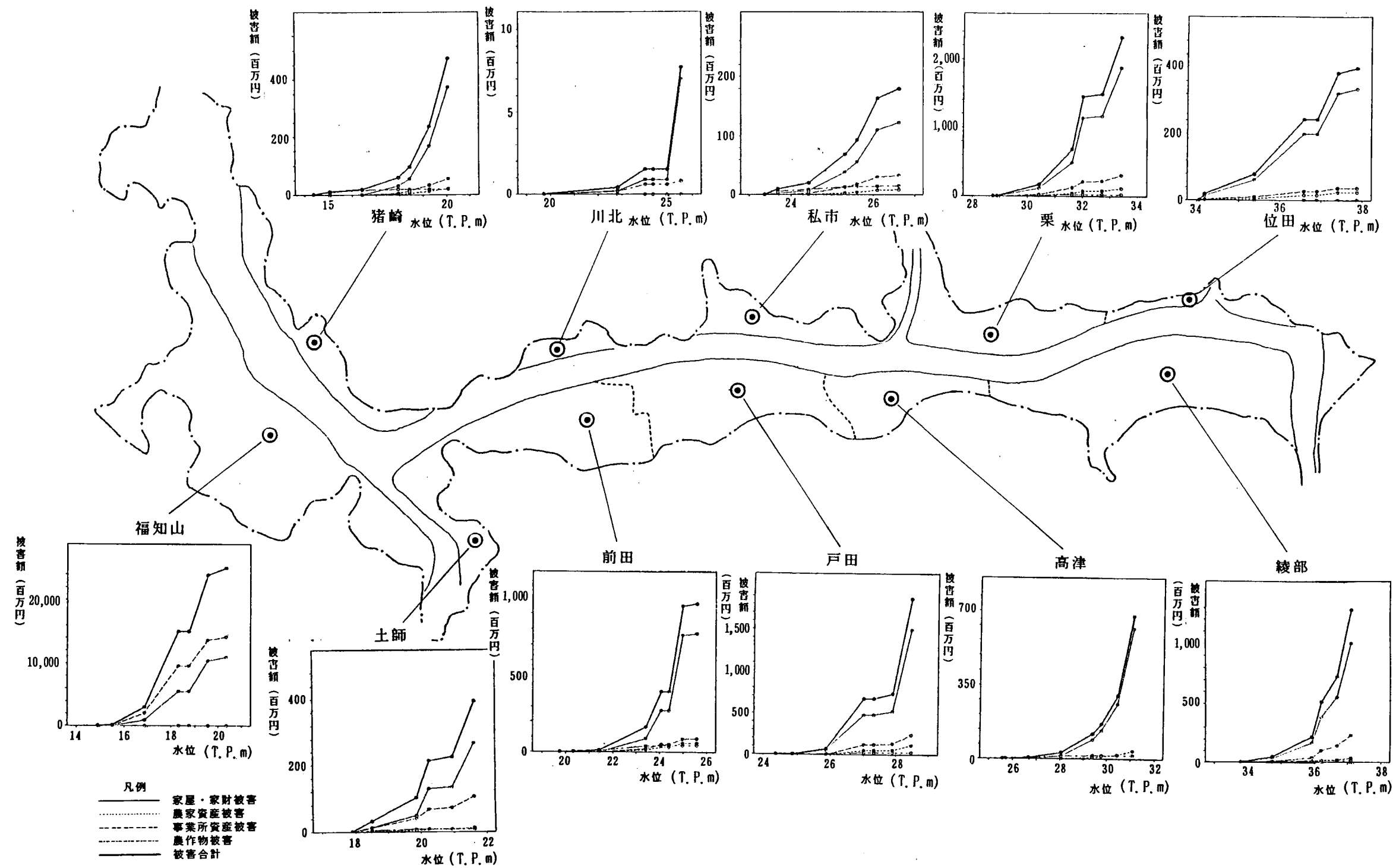


図5.3.9 ブロック別水位－被害額曲線

第4節 最適化計算における前提条件と解析ケース

4-1. 前提条件の整理

① 中間目標と治水方式

前節で述べたような観点から、由良川水系工事实施基本計画における中流部の改修計画を計画目標とする。

② 事業投資規模

工事实施基本計画における中流部の改修計画の総事業費は約485億円⁵⁹⁾で、この事業投資額が今後25箇年間で投資可能と想定し、5箇年を1期とし、各期均等に約97億円が投資されるものとした。なお、第4章でも紹介したように、システム解析の自由度を大きくするため、各期の投資額には約1割(10億円)の増減幅をもたせることとする。

③ 事業単位

事業内容は前述したように、築堤9区間、河道掘削2区間とし、各事業は現況、用地買収、築堤あるいは掘削の3段階を考える。また、事業は各期の最初に着工され期末に完成するものとする。

④ 対象洪水規模

対象洪水規模として、福知山流量 $2,500\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4,800\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $5,600\text{ m}^3/\text{s}$ 及び $8,100\text{ m}^3/\text{s}$ の4つを設定した。各々の生起確率は現時点の評価で0.191、0.047、0.032、0.010である。なお、当該地域改修区間における無害流量規模は $560\text{ m}^3/\text{sec}$ である⁶¹⁾。

⑤ 地域の社会経済活動

今後、25年間に於いて当該流域の氾濫区域における土地利用はかなり変化することが想定されるが、本解析においては、現況固定として取り扱うこととする。

⑦ 初期条件

猪崎地先の事業については、現在用地買収あるいは築堤が進められつつあるので、第1期から優先的に事業費が投入されるものとする。

4－2．解析のケース

上記の条件のもとで、表 5.4.1 に示す内容について解析することとする。

表5.4.1 解析のケース

	目 的 関 数	ブロック被害増に対する制約
D P による全期最適化	総被害額の最小化	あり、なし
	住民被害額のアンバランスの是正	あり、なし
	多 目 的 評 価	あり、なし
	総被害額の最小化 (技術的制約あり)	あり、なし
各 期 最適化	総被害額の最小化	あり、なし

第5節 解析結果

5－1．総被害額の最小化を目的とした最適化計算の結果

まず段階的施工による各氾濫ブロックの被害増は生じさせないという制約を設定した場合の改修方式を図5.5.1に示す。第1期の改修は、現況で年平均被害額の高い綾部、栗ブロックに接した第④、⑤区間ならびに現況から改修が進められている猪崎ブロック地先の区間⑨の築堤が完了する。第2期にはこれらの築堤区間に加えて上流部の低水路掘削も完了し、綾部、栗、戸田、猪崎ブロックの年平均被害額は大幅に減少する。この結果、総被害額は現況 19.76億円から第2期 11.71億円で軽減している。戸田ブロック地先の第②区間の築堤が行われていないにもかかわらず、被害額の軽減が見られる。これは上流部の河道掘削による効果が現れているためであり、綾部、栗、私市ならびに高津ブロックなど上流側に位置するブロックすべてについてその効果が認められる。なお福知山ブロックの地先については、現在すでに堤防が概成しており、当ブロックの被害を軽減させる施策は下流部捷水路掘削（ショートカット）のみであり、結果的には最終期に至ってもわずか0.03億円の被害軽減が見られる程度に留まっている。第3期以降は、年平均被害額の高い戸田、高津ならびに前田ブロック地先での築堤が進められており、これまでの結果を見る限り、概ね、現況で年平均被害額の高いブロックを対象に順次改修が進められていくような方式が選択されていると言える。なお第①、②、③区間の築堤は第4、5期に行われるが、これは当築堤区間の背後地である前田ならびに戸田ブロックを保全するためには部分築堤では効果が挙がらず、第①、②、③区間をすべて完成させる必要があり、結果的に多くの事業費を必要とすることなどが影響しているものと判断される。

つぎに図5.5.2よりブロックの被害増に対する制約を除いた場合の段階施工について見る。第2期までは、用地買収区間に若干の差異は認められるものの、制約が設定されている場合とほぼ同様の改修方式が選択されている。もっとも第3期以降は栗ブロック地先の第⑥区間あるいは前田、戸田ブロックの第①、②区間の築堤が先行するなど被害軽減効果の高い施策が次々と選択されている。

このような改修方式をブロック被害増に対する制約を設定した場合と比較すると、その相違点は、第3期から築堤を積極的に進めることにより被害軽減を早期に図っているかどうかであり、図5.5.1と図5.5.2を比べると、総被害額では第3期0.57億円、第4期0.61億円の軽減が見られる。もっともこのような積極的な施策の結果、綾部、高津、栗、私市ブロックについて被害増が生じている。

第1期から第4期に至るまでの総被害額の年平均値を制約条件の有無で比較すると、表5.5.1に示すように制約が設定された場合には0.30億円の被害増となっていることが分る。なお、以上の解析結果各氾濫ブロックにおける各期別の被害の状況を図5.5.3および図5.5.4に示した。

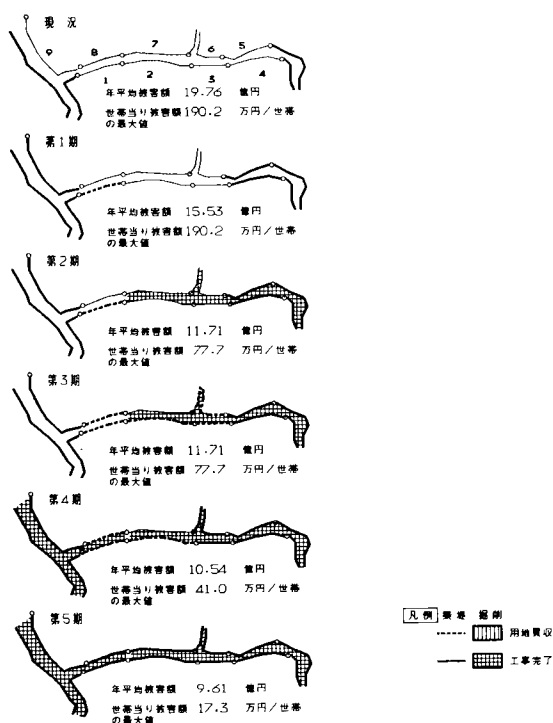


図 5.5.1 着工順位
〔総被害の最小化：制約有り〕

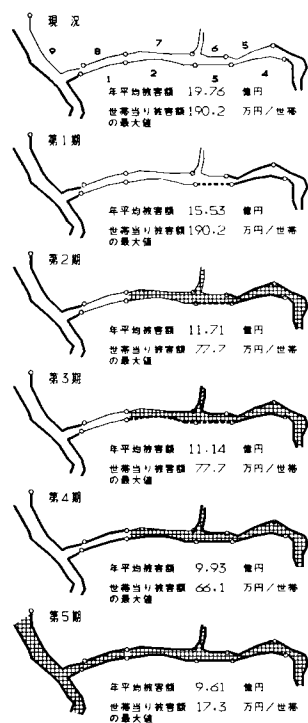


図 5.5.2 着工順位
〔総被害の最小化：制約無し〕

表5.5.1 制約条件の有無による比較

指 標	目的関数	総被害額の最小化	総被害額の最小化 (ブロック被害増に対する制約)
総被害額 (億円)		12.08	12.38
世帯当たり被害額の 偏差 (万円/世帯)		29.21	27.59

※現況ならびに最終期の指標値は何れのケースにおいても同一であるため、
ここでは第1期から第4期に至るまでの年平均値を示す。

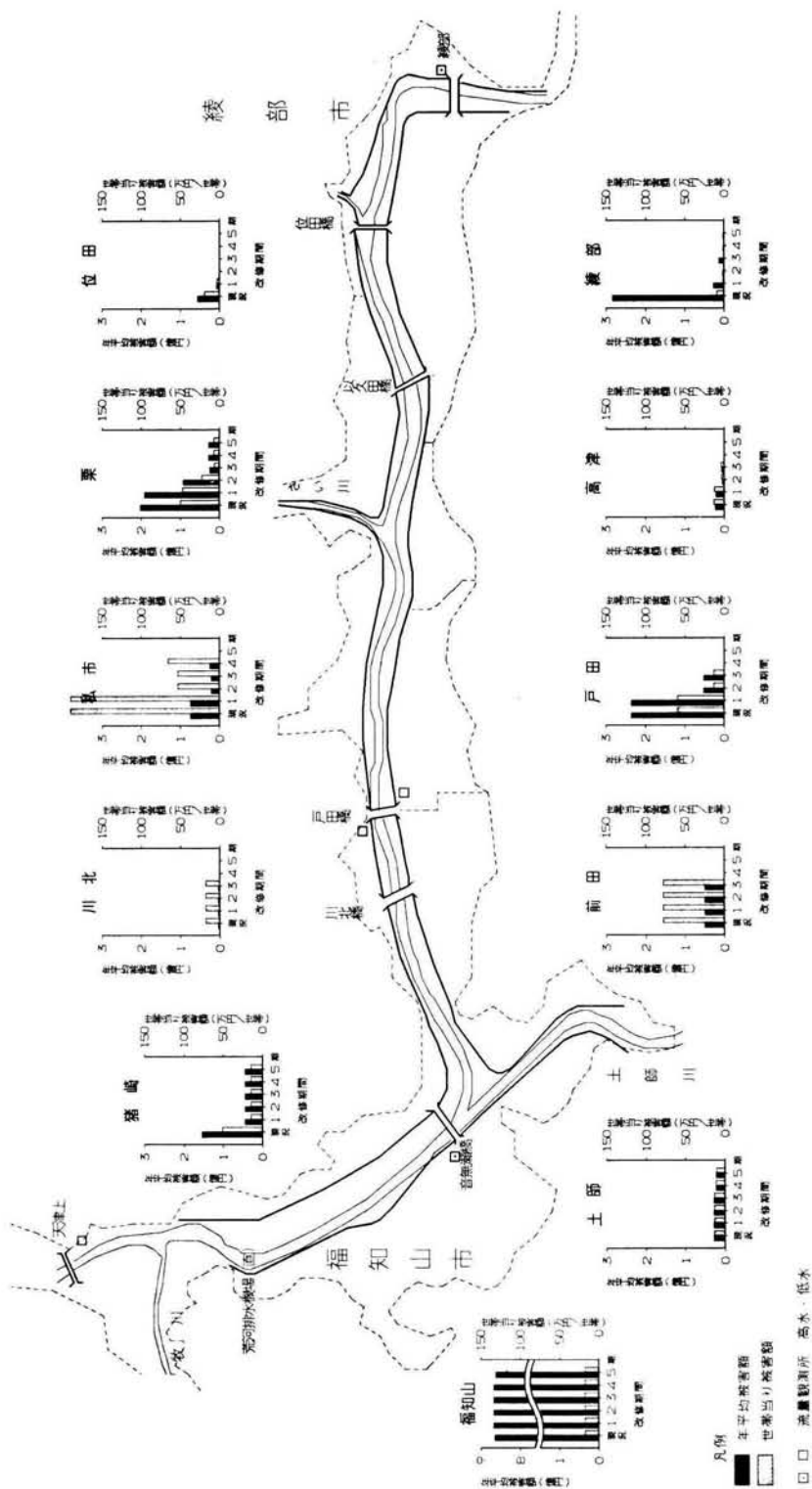


図5.5.4 ブロック別被害額の推移
評価指標：総被害額の最小化

5-2. 住民被害のアンバランスの是正を目的とした最適化計算の結果

図5.5.5よりブロック被害増に対する制約が設定されている場合について見る。第1期は優先的に改修が進められる猪崎ブロック地先の堤防が完成するのみであり、残りの事業費はすべて用地買収に投入される。このため世帯当たり被害額の最も高い私市ブロックは現況のままであり、ブロック間の被害額のアンバランスはさほど解消されていないことが分る。このような結果が得られた理由として次のことが考えられる。すなわち、私市ブロック地先の築堤は対岸ブロックの被害増をもたらすことになる。このため私市ブロックの被害軽減を図るためには同ブロックの築堤と同時に対岸の築堤を行うか、もしくは上流部河道掘削を行うことにより上流ブロック全体の被害軽減を図る必要がある。事業費の面から考えると、前者の施策は明らかに1期当たり総事業費を上回るものであり、少なくとも用地買収と築堤は時期をずらせる必要がある。このため

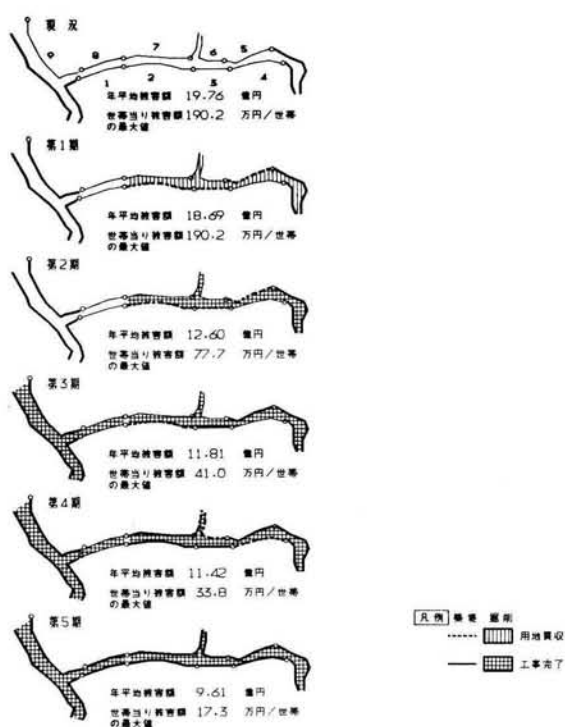


図5.5.5 着工順位

〔アンバランスの是正：制約有り〕

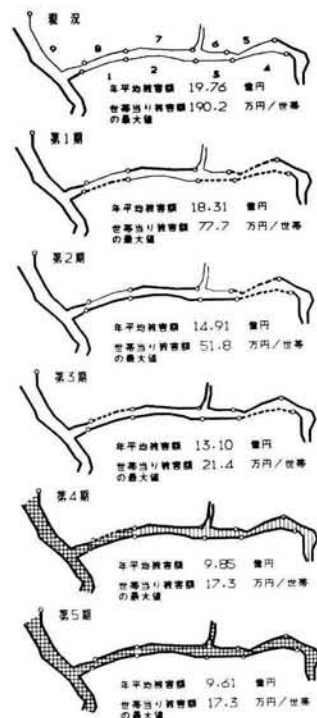


図5.5.6 着工順位

〔アンバランスの是正：制約無し〕

結果的に上流部河道掘削が先行し、世帯当たり被害額の高いブロックは中後期に着工されたものと判断される。

次に図 5.5.6よりブロック被害増に対する制約が除かれた場合を見る。第1期では私市、猪崎ブロック地先の築堤が先行するなど、流域被害額のアンバランスが積極的に解消されていく様子がうかがわれる。さらに第2期になると、前田のみならず戸田ブロックの被害軽減を図るような改修が行われ、制約条件が設定されている場合とは異なった改修が進められる。この結果、各ブロックともに軒並み前期を上回る被害額が生じており、ブロック被害増に対する制約が除かれることにより、ブロック間の世帯当り被害額のアンバランスは期が進むに連れてより一層解消されることになるが、一方では被害増を生じたブロックは最終期に至るまでに全11ブロックのうち9ブロックにのぼる。

なお、図 5.5.7 および図 5.5.8 にブロック別の被害の推移を示した。また、ブロック被害増に対する制約の有無によるブロック間の被害額のアンバランスの比較を表5.5.2に示す。

表5.5.2 制約条件の有無による比較

指 標 \ 目的関数	住民被害のアンバランスの是正	住民被害のアンバランスの是正 (ブロック被害増に対する制約)
総 被 害 額 (億 円)	14.04	13.63
世帯当たり被害額の 偏差 (万円/世帯)	13.10	23.97

※現況ならびに最終期の指標は何れのケースにおいても同一であるため、ここでは第1期から第4期に至るまでの年平均値を示す。

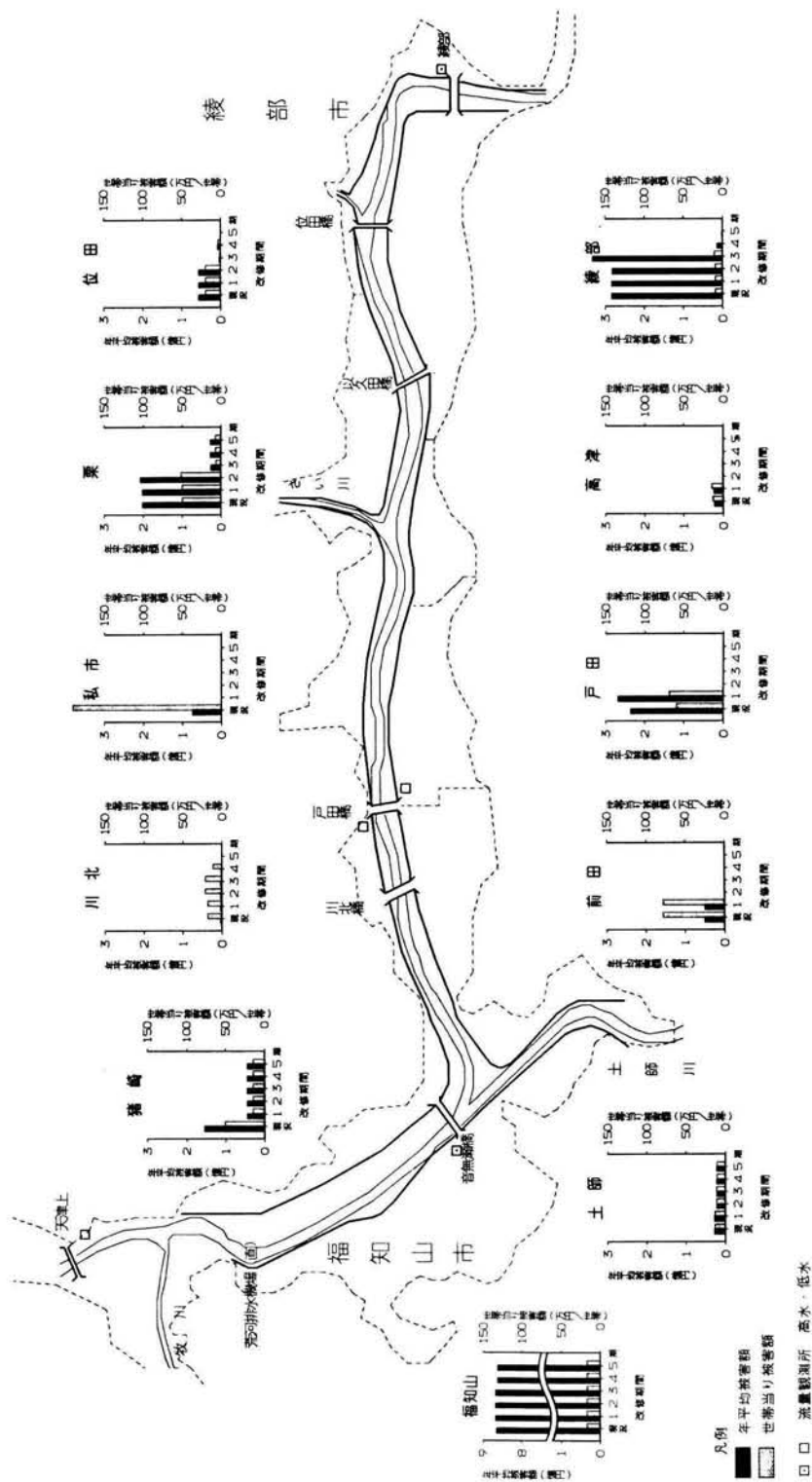


図5.5.8 ブロック別被害額の推移
評価指標：住民被害額のアンバランスの是正

5－3．段階的施工計画の多目的評価

第4章でも述べたように、段階的施工計画に対する評価指標として確定的なものではなく、幾つかの評価指標が指摘されるに留まっている。その内容は、総被害額の最小化に代表される効率の最大化とブロック間の被害のアンバランスの是正に代表される公平化の概念によって大きく区分されると言えよう。これまでの解析では、各々の評価指標に対応した単一の目的関数を設定し、それに基づいて段階的施工についての解析を行ってきた。しかしながら、繰り返し述べているように、元々段階的施工の評価には多面的な複数要因が係っており、これらの複数評価要因を同時に考慮しながら、地域にとって望ましい計画を選択することも重要な課題と考えられる。ここではこのような認識に立ち、総被害額の最小化、住民被害のアンバランスの是正という複数の目的関数を取り上げ、段階的施工計画の多目的評価について解析を行う。

二目的関数に対する重みを種々変化させることによって得られたパレート解を図5.5.9に示す。図中実線はブロックの被害増に対する制約が設定されている場合のパレート解を示し、点線は制約が除かれた場合のパレート解を表す。

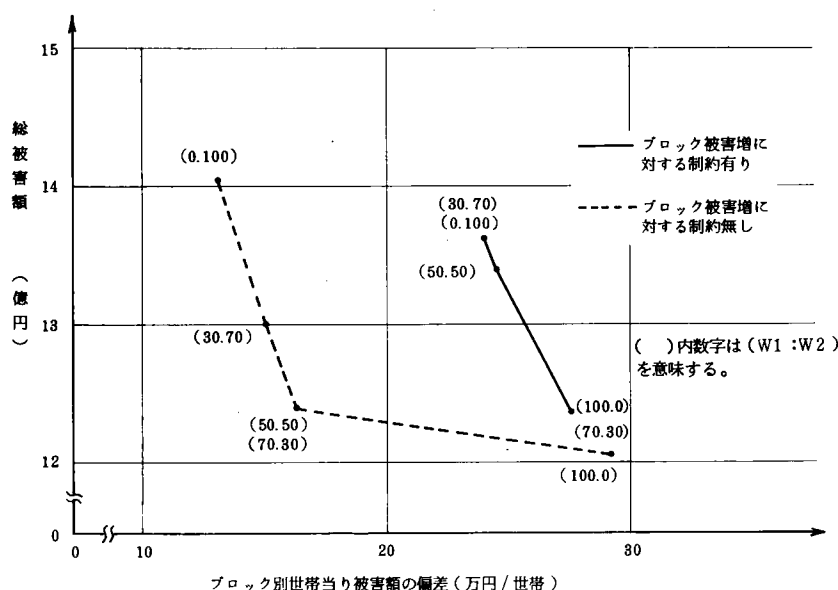


図5.5.9 多目的評価におけるパレート域

また($w_1:w_2$) はそれぞれ w_1 : 総被害額に対する重み、 w_2 : 住民被害のアンバランスに対する重みを表している。これによると両者の間には明確なトレードオフの関係が存在することが分る。さらにパレート解を個々に見ると、ブロックの被害増に対する制約が除かれている場合には重みが (50:50)において明確な変曲点が存在していることが分る。一方制約が設定されると、段階的施工の実行可能領域が狭められることになり、それに伴ってパレート解そのものも狭小化している。これに伴って、重み ($w_1:w_2$)を種々変化させても、その解はパレート域の端点すなわち二目的関数のいずれか一方のみの最適化を図った場合の解に一致するような結果が得られている。わずかに重み (50:50)で若干異なった段階的施工を見せている。すなわち表5.5.3に示すように、制約が設定されている場合のパレート域は、総被害額で12.38 億円/年<13.63 億円/年、世帯当り被害額の偏差で23.97 万円/世帯<27.59 万円/世帯 (いずれも第1期から第4期までの平均値) となっており、制約がない場合と比較して各々の

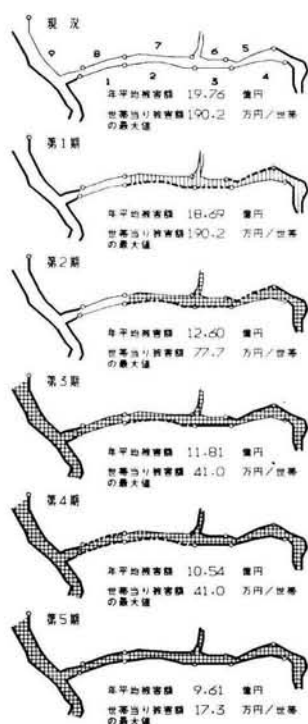


図 5.5.10 着工順位
〔多目的評価：制約有り〕



図 5.5.11 着工順位
〔多目的評価：制約無し〕

領域は64%、22%に縮小している。この結果、パレート解の変曲点も制約がない場合ほどには顕著に現れていない。重み(50:50)における、ブロック被害増に対する制約あり、なしの場合の解析結果を図5.5.10、5.5.11に示す。

段階的施工計画に対する多目的評価の視点は、上述のパレート解の中からどの解を選択するのが望ましいかとも言い表される。単一評価指標すなわち一方の指標のみを重視した場合には、選好される計画はパレート解の両端のいずれかとなり、すなわち単一評価は複数評価の極端なケースと言える。このパレート解に含まれる段階的施工計画案の中から、いずれの解が地域にとって望ましいかは、これまでのようなシステム解析によるのではなく、新たに意思決定者の効用関数を何等かの方法で別途見出す方法を検討する必要がある。この問題については意志決定者との対話を基調としたSWT 法⁷⁾、多属性効用関数理論⁸⁾などが開発されている。本論文では、パレート解からの選好解の決定については言及しないが、少なくともパレート解の範囲、形状ならびに変曲点は、この問題に対して有効な情報となっているものとする。なお、図5.5.12および図5.5.13に解析結果による各ブロックの被害の推移を示した。

表5.5.3 多目的評価の重みづけによる解の変動

目 的 関 数 指 標	ブロック被害増にたいする制約					
	な し			あ り		
	W1:W2= 100:0	W1:W2= 50:50	W1:W2= 0:100	W1:W2= 100:0	W1:W2= 50:50	W1:W2= 0:100
総 被 害 額 (億 円)	12.08	12.39	14.04	12.38	13.41	13.63
世帯当り被害額の偏差 (万円/世帯)	29.21	16.30	13.10	27.59	24.50	23.97

※W1：総被害額に対する重み、W2：住民被害のアンバランスに対する重み。

※現況ならびに最終期の指標は何れのケースにおいても同一であるため、ここでは第1期から第4期に至るまでの年平均値を示す。

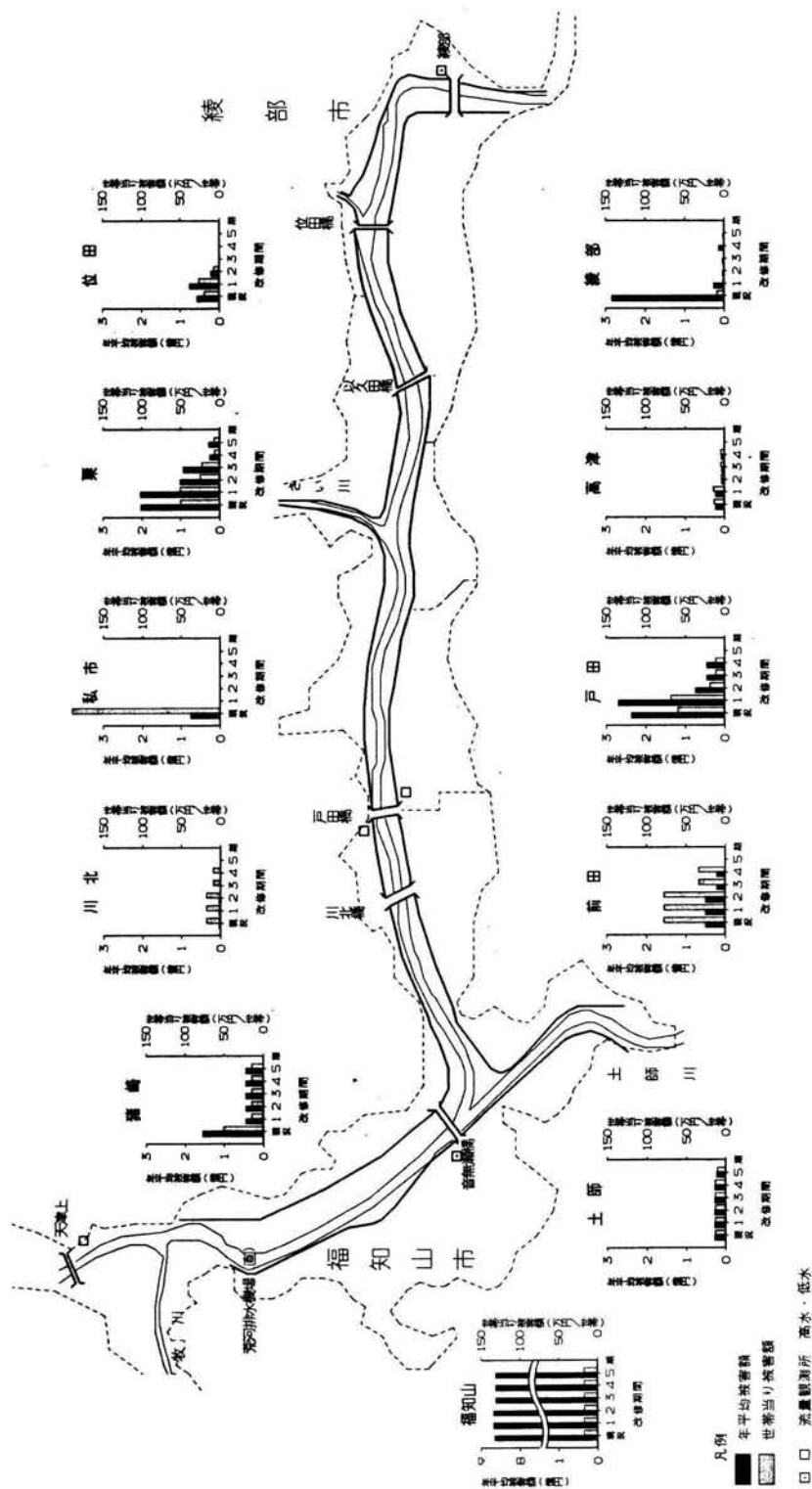


図 5.5.13 ブロック別被害額の推移

多目的評価

(総被害額の最小化：住民被害額のアンバランスの是正=50:50)

5－4．段階的施工計画における技術的制約

これまでの解析では、各改修区間の着工順位に対する制約としては、ブロックの被害増に対する制約のみを考慮しており、他に何らの制約は設けていなかった。この結果、場合によっては上流部の河道掘削が築堤あるいは下流部河道掘削に先行することもあり、従来の経験的な改修方式とは若干異なった結果が見られた。著者は次の2点の理由により、これまでの解析では敢えて着工順位に関する技術的制約を設けてなかった。第1点は、現在の河川技術をもってすれば、多少の困難さは伴うとしても、比較的多様な改修方式に対応することができる。したがって、技術的に上流部の河道掘削を先行させることは十分可能である。第2点は、解析上あまり制約を付加し過ぎると解空間が極端に狭まくなることもあり、本来の解析意図から乖離した結果が得られる可能性がある。しかしながら、一方で、従来の工法に則った技術的制約が考慮された場合の解の変動を解析しておくことは、今後の河川改修の段階的施工を検討する上でも重要な課題とも言える。ここでは、このような観点から、目的関数として総被害額の最小化を取り上げ、技術的制約として、他の改修が完了した最終期に上流部河道掘削は行われるとした場合（下流部掘削については、単に掘削だけでなくショートカットも含むため、このような技術的制約は設けない）の解析を行う。

まず、技術的制約に加えて、ブロックの被害増に対する制約が設定された場合の解析結果を図5.5.14に示す。第1期に綾部ブロックならびにその対岸の位田ブロックで築堤が行われ、その後栗、高津ならびに戸田ブロックの築堤が進められる。現況で年平均被害額の高いブロックの築堤ならびにそれによって影響を受けるブロックの築堤が順次行われており、これまでの解析結果と比較すると、各氾濫ブロックの被害額分布と築堤順位との対応がより顕著に現れている。

次にブロックの被害増に対する制約が除かれ、技術的制約のみが考慮されている場合について見る。図5.5.15に示すように、綾部、栗、戸田ブロックの順に築堤が進められており、前のケースに比べると、年平均被害額の高い氾濫ブロックの築堤がより積極的に進められている。もっとも、これに伴って幾つか

の氾濫ブロックで前期を上回る被害増が見られ、その数は4ブロックに達している。

表5.5.4に示すように、技術的制約が設定されると、総被害額が若干上昇している。このことだけをもって技術的制約のもつ意義を議論することはできないが、少なくとも制約を除いたことに伴う改修上の技術的問題と経済的効果についてさらに詳細な検討を加えていくことが今後の課題として残されている。なお、解析結果得られた各ブロックの被害の推移を図5.5.16 および図5.5.17に示した。

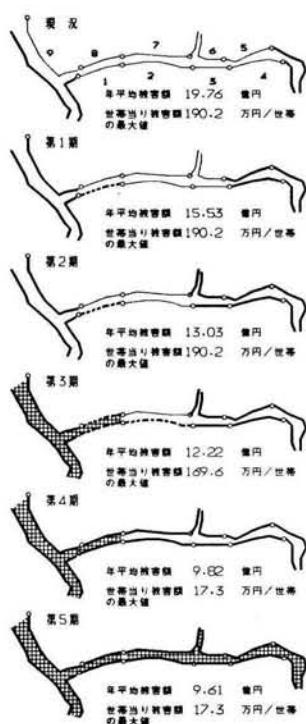


図 5.5.14 着工順位

〔技術的制約を考慮〕

〔総被害の最小化：制約あり〕



図 5.5.15 着工順位

〔技術的制約を考慮〕

〔総被害の最小化：制約なし〕

表5.5.4 技術的制約の有無による総被害額の比較

		ブロック被害増に対する制約	
		あ り	な し
技 術 的 制 約	あ り	12.65	12.26
	な し	12.38	12.08

(億円)

※現況ならびに最終期の指標値は何れのケースにおいても同一であるため、ここでは第1期から第4期に至るまでの平均値を示す。

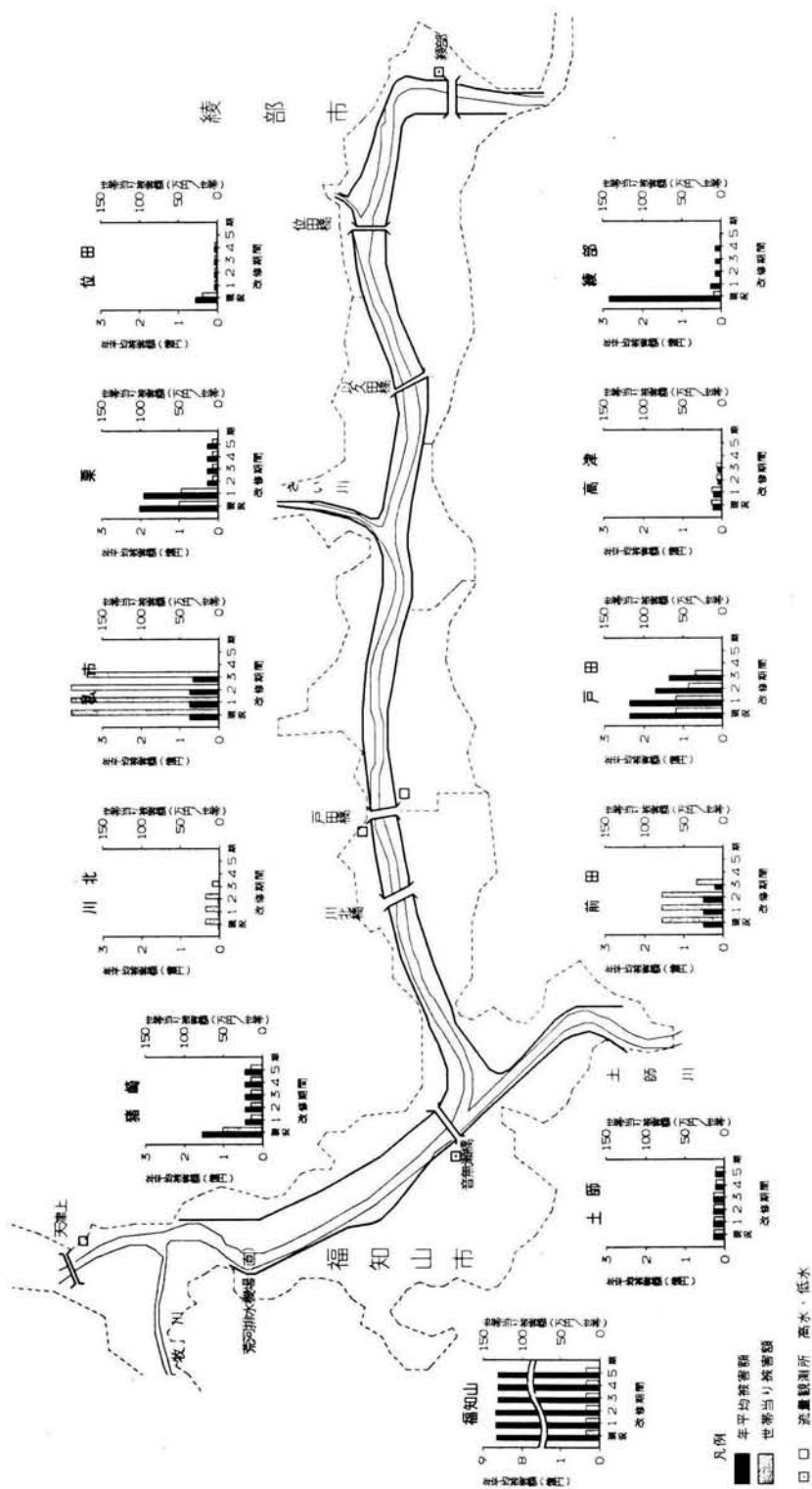


図 5.5.16 ブロック別被害額の推移
評価指標：総被害額の最小化
(ブロック被害増に対する制約)
(技術的制約を考慮)

5－5．段階的施工計画における評価時期の問題

段階的施工問題では、投資配分が数十年に渡るために、どの時点で段階投資の最適性を判断するかが大きな問題となる。これまでの解析は計画期間全体を通して最適性を追求する（つまり全期間の総評価関数値が最小となる段階的施工を決定する）という考え方に立っていた（以下これを「全期最適化」とする）。しかしながら一方で、不確実性の多分にある遠い将来を見越して計画を評価するよりも、各期毎に当面の改修効果をその都度逐次評価していくべきであるとする考え方がある。これは、河川改修の順序を踏まえて、逐次評価を行いながら先に進めるという意味で連続性があるが、一度選好された段階毎の改修計画は順次与件となるため、改めてそれ以前の改修計画に戻った評価は行われない（以下これを「各期最適化」とする）。両者は段階的施工計画に対する評価の捉え方が基本的に異なっており、単純に優劣を論じることにはできないが、少なくとも両解析結果の差異を明らかにしておくことは興味深い。特にこれまでの解析のように各改修区間の工種の中に用地買収が含まれているような場合には、投資に伴う被害軽減効果が直ちに現れるとは限らない。したがって、各期毎に最適性を追求するか、あるいは全期通して最適性を追求するかによって選好される投資配分パターンも異なってくる可能性がある。また解析に要する時間について考えると、全期最適化に比べて各期最適化の方がはるかに短く、各期最適化による解が全期最適化の解にどの程度近似できるか否かによっては、今後の段階的施工計画の検討に一つの指針を示し得るとも考えられる。ここではこのような観点から、総被害額の最小化を目的関数として設定した場合の各期最適化分析に基づく段階的施工計画案とDPモデルによる全期最適化解析に基づく段階的施工計画案の違いについて比較検討を行う。

まず図5.5.2, 5.5.18ならびに表5.5.5よりブロックの被害増に対する制約が除かれている場合の比較を行う。両解析結果ともに、資産集積の高い綾部ブロック地先の築堤あるいは上流部掘削が先行するなど比較的類似した段階的施工計画となっている。第4期までの年平均被害額を見ると、全期最適化解析では12.08億円／年、各期最適化解析では12.17 億円／年となっており、若干の差

異が認められる。これは綾部に次いで資産集積の高い栗、戸田ブロックでの築堤時期に違いが現れているためである。これまでの解析結果を見る限りにおいては、各期最適化による段階的施工は必ずしも計画期間全期を通じての最適性を保証し得ていないが、少なくとも全期最適化解析結果に対して良好な近似解となっていると言えよう。

次に、ブロックの被害増に対する制約が設けられている場合について考察する。結論から述べると、各期最適化解析では実行不可能という結果が得られた。これは十分に予想されたところであり、今回の解析のように解空間を大幅に制約するような条件が付加されている場合には、各期毎に最適な施工パターンを逐次決定していくような方法では必ずしも最終期に至るまで実行可能な解が得られる保証はなく、全期間を通じて実行可能な段階的施工の中から最適解を選び出す方法が選択されるべきであると言えよう。

なお、図 5.5.19 に各ブロックの被害額の推移を示した。

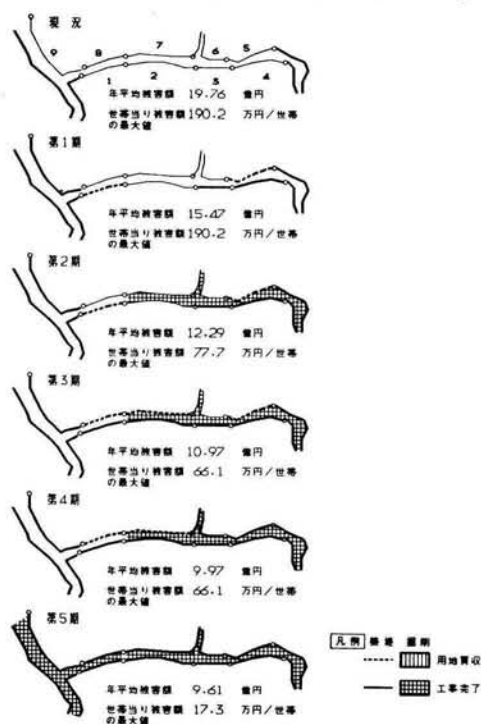


図 5.5.18 着工順位〔各期最適化〕
〔総被害額の最小化：制約なし〕

表5.5.5 全期最適化と各期最適化の比較
(ブロック被害増に対する制約無)

	全期間通じての 総被害額の最小化	各 期 毎 の 総被害額の最小化
総 被 害 額 (億 円)	12.08	12.17
世帯当り被害額の偏差 (万円 / 世帯)	29.21	27.66

※現況ならびに最終期の指標値は何れのケースにおいても同一であるため、
ここでは第1期から第4期に至るまでの年平均値を示す。

第6節 結言

本章は、第4章で作成した段階的施工計画の最適化システムを由良川中流部に適用し、システムの有効性を多面的に検証してきた。本章で得られた成果は以下のとおりである。

- ① まず、対象区間の特性を踏まえ、実験計画法による湛水量予測モデルを作成するとともに、二次元不定流モデルによる解析結果との比較検証を行ったところ、今回の解析に十分耐え得る精度が確保されていることが確認できた。
- ② 総被害額の最小化、住民被害のアンバランスの是正を評価指標として設定し、各々のケースについてブロック被害増に対する制約の有無による解の差異を調べた。制約がない場合には被害額あるいは世帯当たり被害額の高い氾濫ブロックを保全するような施策が順次選択されるような結果が得られた。一方、制約が設定されている場合には、目的関数の達成度は幾分減少するものの、改修に伴う被害の波及構造を踏まえて、上下流・左右岸問題を回避するような解が選択されている。
- ③ 先に述べた二目的関数を同時に考慮した段階的施工計画の多目的評価を検討したところ、両者の間に明確なトレードオフの関係が存在することが確認された。本論文では、解析結果得られたパレート解から選好解を決定するためのシステムについては言及していないが、少なくとも今回作成した最適化システムによって、パレート解の形状ならびにその領域を把握することができ、今後の河川改修の段階的施工計画に有効な計画情報を提供できるものと考ええる。
- ④ 技術的制約を考慮した場合には、年平均被害額の高い氾濫ブロックで順次改修が進められており、築堤着工順位と各氾濫ブロックの被害額分布との対応がより明確となるような結果が得られた。なお技術的制約が設定されたことによって、総被害額は若干上昇している。今後の課題として、技術的制約の有無による改修上の問題について、単に経済的観点のみならず河川工学的観点からも検討していく必要があると考える。
- ⑤ 段階的施工の評価の時期が異なる全期最適化と各期最適化の比較を行った。

ブロックの被害増に対する制約がない場合には、各期最適化による解は全期最適化の解に対して、比較的良好な近似解となっていることが確認できた。しかしながら、ブロックの被害増に対する制約が設定された場合には、各期最適化によっては実行可能な解を見出すことができず、その限界が明らかにされた。すなわち、河川改修の段階的施工計画に社会的な様々の制約が要求される場合には、期毎に逐次改修を評価していくような仕方では、計画期間中後期になるに連れてその制約を満たすことが困難になってしまう可能性が残されていると言えよう。

参考文献

- 1) 建設省河川局；由良川水系工事実施基本計画参考資料，1966， 3 月
- 2) 建設省近畿地方建設局福知山工事事務所；由良川治水理論検討業務報告書，1980， 3 月
- 3) 福知山地方の自然災害史（洪水編）1978， 3 月
- 4) 建設省近畿地方建設局福知山工事事務所；由良川治水経済調査報告書，1977， 12月
- 5) 4)に同じ
- 6) 4)に同じ
- 7) Y. Y .Haimes, W. A. Hall and H. T. Freedman; Multiobjective Optimization in Water Resources System, The Surrogate Worth Trade-off Method, Elsevier, New York, 1975.
- 8) R. L. Keeney and H. Raiffa; Decisions with Multiple Objectives ; Preferences and Value Tradeoffs, Wiley, 1976.

結論

本論文は、治水計画の完成に向けて、中間目標の計画とその目標を具現するための施工計画の最適化システムについて提案してきたものである。

第1章において、我が国の治水事業の変遷について述べるとともに、その中で、今日に至る間において、時代々々の社会、経済情勢と治水計画の考えかたや方法がどのように対応していたかについて、

- ① 河川に求められる機能が段階的に多目的的になってきた過程。
- ② 国直轄河川事業の対象河川が重要度の高い河川から次第に対象を拡大し、現在の109水系にまで拡大されてきた過程。
- ③ 治水方式については、地先主義的な考え方から水系一貫した考えへと変化してきた背景、また、治水手段が築堤や掘削による方法から、ダムや貯水池などによる洪水の調節、さらには近年の都市化流域における総合的治水対策に至るようになってきた過程。
- ④ 治水事業の目標規模が既往最大主義的なものから確率論の導入により、河川流域の重要度に応じて洪水災害の生起する確率でもって策定されるようになってきた過程。

等を中心に言及してきた。

そして、近年の社会・経済的情勢の下で工事实施基本計画が超長期構想化していることを指摘するとともに、その結果、治水事業を進展していく過程において派生している問題点を抽出してきた。

つぎに21世紀に向けて、豊かな国土を建設していくための社会資本整備計画の在り方について言及し、その根幹としての治水計画が今後どのように対応していくべきか、その課題を指摘するとともに、そのなかで本論文の目的と意義を明らかにした。

第2章においては、本来、治水事業は流域の特性に応じて固有に計画されるべきことを指摘し、そのための基礎的検討として、流域の自然、社会・経済条件から全国主要河川流域を類型化するとともに各類型における治水特性について言及してきた。得られた結果は以下の通りである。

① 河川流域の類型化

治水と言う観点から、流域の特性を指標として、治水ポテンシャルと社会ポテンシャルを提案した。

河川流域の治水ポテンシャル S を、氾濫区域面積 a と氾濫区域内人口 h で説明されるであろう保全対象の規模と、一方では、その河川の堤防区間延長 b （完全堤防＋未完成堤防）と基本高水流量 q とで示される治水事業規模の2つの側面から定義した。また、保全対象規模と治水事業規模の比 R で各河川流域を平地性流域と山地性流域に分類した。この S と R を基本として、全国主要一級河川流域を、大規模平地性流域、大規模山地性流域、小規模平地性流域、小規模山地性流域および平均的流域の5つのタイプに類型化した。その結果、筆者をはじめ河川管理者の各河川流域に対する治水イメージとはほぼ一致した類型化が可能となった。

また、氾濫区域内の人口密度 P_D とその伸び率 P_G を基本指標とした社会ポテンシャルを定義し、河川流域を類型化した。その結果として、本論では、河川流域を、高密度発展型流域、高密度安定型流域、低密度発展型流域、低密度安定型流域および平均的流域の5つのタイプに類型化した。その結果、河川管理者の各河川流域に対する社会的重要度のイメージと一致するものとして評価できるものが得られた。

② 河川流域の類型と治水特性

つぎに、各河川流域を管理している工事事務所長に対して、治水計画上の問題点と今後の課題について行ったアンケート調査結果の概要を紹介するとともに、アンケート調査結果に数量化理論Ⅲ類モデルを適用して、河川管理者の見識に基づく河川流域のパターン分類を行った。その結果、治水計画において、同様の問題点や課題を有する河川流域を抽出することができた。ついで、本論で提案した各河川流域の類型化の結果とアンケート調査結果を重ね合わせることで、各類型化された河川流域の治水計画上の問題点を明確にすることが可能となった。その結果、治水ポテンシャルの高い流域、また、高密度に発展、成熟した河川流域において、総じて治水計画上

の問題点が大きいことが明らかとなった。また、各類型の治水事業効率について解析を行った結果によれば、治水ポテンシャルが高く、また、高密度に発展した流域の治水事業の効率が総じて高くなっていることが明らかとなった。

最後に、建設省で行われた流域診断結果と本論の類型化を対比したところ、流域診断において、「赤信号流域」として指摘されている河川流域の多くが、大規模平地性河川流域および平均的流域に偏っていると同時に、また、社会ポテンシャルから見ても、高密度発展型流域もしくは高密度安定型流域に偏在していることが明らかとなった。

第3章において、超長期構想化した工事実施基本計画の完成に向けての中間的目標を計画することの必要性和意義を明らかにするとともに、その最適化のための方法論について展開してきた。

まず、工事実施基本計画の中間目標を計画する場合、全国的な視野から各河川流域の中間目標の計画と、或る一つの河川流域を対象として複数の基準地点の中間目標を計画する場合とがあることを指摘し、本論は後者の計画のための最適化システムを以下のように構成してきた。

- ① 中間目標を計画するに際して、「経済的効率」と「心理的被害」という2つの異質な評価の概念を導入し、本来、中間的目標はこの2つの評価概念を複合し、多目的的に計画することの必要性を指摘しシステムに組み入れた。
- ② まず、経済的効率の最大化については、治水事業の持つ「規模の経済性」と「早期効果の発現」という視点から、この両者をトレード・オフの関係として構成した。
- ③ また、心理的被害については、住民の受ける被害の絶対値によるものと、地域的な被害のアンバランスにより生じるものとの2つの心理的側面を取り上げ、その両側面を同時に評価すべくシステムを構成した。
- ④ 一方、最適化システムの制御変数は各基準地点の中間目標（再現期間）とし、氾濫貯留効果を考慮した実質的目標値をもって計画する必要性を指摘し、そのためには、最適化システムは各種制御（中間目標の計画案）に伴う洪水

氾濫現象の変化を予測する機能を具備すべき点を指摘した。

第4章においては、第3章で計画される中間目標を具体化していく場合の段階的施工計画の最適化システムを開発してきた。システムの基本的な考え方は以下の通りである。

- ① 段階的施工計画において、本論では「経済的効率」と「公平性」という2つの評価の概念を提起し、この両概念を複合した多目的評価の必要性を説いた。各々の評価概念のどちらに重きを置くかは、第2章で分析を行ってきたように河川流域の社会的、経済的条件に大きく支配されるものであることを示唆した。
- ② 段階的施工計画の最適化システムとは、上記で設定される計画の評価を最も高くするためには「いつ」、「どの事業に」、「どの程度」の投資を行えばよいか、すなわち、治水事業の最適な予算配分を決定するシステムとして位置づけ、DP理論を適用してシステムを構成した。
- ③ 段階的施工を計画する場合、各種の事業の施工順位の在り方により、河道の洪水流況は大きく変化し、その結果、洪水災害時における被害の絶対量とその地域的分布に大きな影響をもたらす。

そのため、最適化システムには事業の施工順位により洪水の氾濫形態がどのように変化するかを予測する機能が必要となる。洪水氾濫現象を解析するモデルとしては、本来二次元不定流モデルによる以外に方法はないが、同モデルの計算に要する時間や費用などを鑑みると、最適化システムに同モデルを直接内装することは、現実的に不可能であることを考えた。そこで、本論では、貯留関数法をベースとした簡便法ならびに二次元不定流モデルをベースとした実験計画法による湛水量予測モデルを開発した。その中で、貯留関数法による場合は最適化演算が比較的短時間であるが、その適用可能な河川流域に大きな制約があること。一方、二次元不定流モデルについては適用河川流域の制約は殆ど無いが、最適化演算に多大な時間を必要とする点を指摘した。そこで本論では、二次元不定流モデルによる予備的解析の結果に実験計画法の統計的手法を適用した、新たな湛水量予測モデルを作成し、最適化シ

システムに内装する方法を提案した。

第5章においては、第4章で提案した段階的施工計画の最適化システムを由良川流域の中流部の河道改修計画に適用した。

まず、対象とする由良川中流部の河川改修の進めかたと、その場合の洪水氾濫状況との関係を二次元不定流モデルにより概略検討を行い、そのデータを用いて実験計画法による湛水量予測モデルを作成した。その結果、最適化システムに求められる精度に十分に耐えるモデルを作成することが出来た。

つぎに、第4章で紹介した最適化システムに基づいて、同対象地域における段階的施工計画の最適化演算を実施してきた。ここでは、評価指標として「年平均被害額の最小化」と「地域別被害の均衡化」を取り上げた。また、ブロック被害増を許さないとした制約条件を考慮した場合とそうで無い場合を想定し、制約条件が段階的施工にどの程度の影響力を持つかについても合わせて解析を行った。

解析の結果、同地域の段階的施工計画の持つ特徴として以下が指摘出来よう。

- ① 上下流問題、左右岸問題の大きな河川といえ、ブロック被害増を許さないとした制約条件を考慮した場合とそうで無い場合に段階的施工計画の内容が大きく変化する。
- ② また、「経済的効率」と「公平化」という2つの評価の概念の違いにより段階的施工計画の内容が大きく変化する。すなわち、両概念にトレード・オフの関係が認められた。
- ③ 2つの評価概念を同時に考慮した多目的解析の結果、パレート解の形状ならびにその領域を把握することが可能となり、今後の河川改修の段階的施工計画の立案に貴重な情報を提供するものとする。
- ④ 従来、河道掘削は築堤完了後に施工される場合が一般的であったが、技術的な制約を除いた最適化解析の結果からは、同地域においては河道掘削が先行して施工されるべきとの傾向が強く現れている。しかし、技術的な制約条件として上流掘削を築堤の完了後に施工するという条件を付加すると、現場技術者の考えている施工計画とほぼ同様の結果を得た。

- ⑤ 最後に段階的施工計画の評価を「全期を通じての評価」と「各期別の評価」という2つの評価の方法によって、施工計画にどのような差異が生じるかについての解析を行ったが同地域において、年平均被害額の最小化という評価に基づけば、両評価方法ともほぼ同じ計画案となる。しかし、下流制約条件を設定した場合には、各期別評価によって実行可能な計画案を導くことは出来ないことが確かめられた。

以上、本論では段階的治水計画を、治水計画の完成に向けての中間目標の計画と、その目標を具現する段階的施工計画と云う2つの計画レベルに分け、それぞれの計画の最適化手法について論じてきた。中間目標の計画に関する最適化手法については、従来の経済的評価の他に住民の心理的被害を評価要因として取り扱うことの可能なシステムとして構成することができた。今後、治水事業に関する地域住民の意識構造が解明されれば、本論で提起した最適化システムの展開に大きく期待することが出来るものと確信している。また、段階的施工計画の最適化システムについては、治水手段を河道改修やダムなどによる洪水調節といったハードな対策に限定しているが、今後は広く総合的治水対策に対応し得る最適化システムへと拡張していく必要性があり課題として残される。

以上を要するに、本論文では21世紀に向けての河川行政上もっとも緊要課題として関心の高い、段階的治水計画の在り方とその方法論を提案してきた。

段階的治水計画の全てを語るには、なお、多くの課題が残されてはいるが、本論文が今後のこの方面の研究を促進するとともに治水行政の新たな展開に繋がることを期待して結びに代える次第である。